



Misael Filipe Vera Gonçalves

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Estudo numérico do desempenho da ventilação num lar de idosos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Doutor Engenheiro João Carlos Viegas,
Investigador Principal,
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Coorientador: Professor Doutor Daniel Aelenei, Professor
Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor Mário Jorge Vicente da Silva
Arguentes: Doutora Maria da Glória de Almeida Gomes
Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar
Vogal: Doutor João Carlos Godinho Viegas



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro de 2016

‘Copyright’ Misael Filipe Vera Gonçalves, Faculdade de Ciências e Tecnologia e Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A presente dissertação foi realizada no âmbito do Mestrado Integrado de Engenharia Civil – Perfil de Construção da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

Este trabalho contou com a orientação do Doutor Engenheiro João Carlos Godinho Viegas, Investigador Principal e Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação e Componentes e Instalações (NAICI) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

A dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto (GERIA) Estudo Geriátrico em Efeitos na Saúde da Qualidade do Ar Interior em Lares de 3º Idade em Portugal (PTDC/SAL-SAP/116563/2010), projeto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Em primeiro lugar, quero agradecer a toda a minha família, em especial aos meus pais e às minhas irmãs, pelo apoio e compreensão ao longo da realização deste trabalho.

Um agradecimento especial para o meu orientador o Engenheiro João Viegas por todo o tempo despendido no auxílio e na transmissão de conhecimento.

Também agradeço ao Professor Daniel Aelenei, coorientador desta dissertação, pela confiança depositada em mim para a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Vítor Machado, chefe da empresa onde estou atualmente a trabalhar, exercendo a profissão para a qual estudei, o meu obrigado.

Um muito obrigado a todos os meus amigos e colegas de faculdade pela motivação e por estarem sempre disponíveis em colaborar.

Finalmente, quero deixar um agradecimento à instituição de ensino FCT-UNL que frequentei e que providenciou o conhecimento necessário para a minha formação, bem como, ao LNEC pelo seu acolhimento, em particular a todos os técnicos e funcionários do NAICI.

Resumo

Cada vez mais, existe uma exigência maior na qualidade do ar interior nos edifícios de habitação, especialmente aqueles que são de uso exclusivo de idosos. A qualidade do ar pode desempenhar um papel muito importante na saúde e na qualidade de vida desta faixa etária.

Uma estratégia de ventilação eficaz pode aumentar significativamente a qualidade do ar interior que, por sua vez, pode resultar numa melhoria da saúde dos utentes. Este trabalho pretende estudar as estratégias de ventilação natural com objetivo de melhorar a qualidade do ar interior em edifícios utilizados como lares de idosos.

Com este intuito, foi escolhido um edifício que funciona como lar de idosos situado em Lisboa, para a modelação das condições atuais de ventilação e identificação das medidas a implementar a fim de melhorar a ventilação do mesmo.

O trabalho de simulação assentou na utilização do programa CONTAM, que permite a criação de modelos multicompartimento, permitindo o cálculo dos fluxos de ar. Obteve-se através deste programa o caudal de ventilação que atravessa as aberturas exteriores e interiores e, consequentemente, o valor da taxa de ventilação de cada compartimento.

Depois do tratamento dos dados recolhidos através das simulações realizadas com o CONTAM, foi mostrada a importância da implementação de uma estratégia de ventilação natural, com o objetivo de melhorar a qualidade do ar interior neste tipo de edifícios.

Palavras-chave: qualidade do ar interior, ventilação natural, taxa de renovação do ar, lares de idosos.

Abstract

Through time, indoor air quality in residential buildings has had greater requirements, especially those for exclusive use of elderly people. Such quality can have a very important role in the health and quality of life of this age group.

An effective ventilation strategy can increase the indoor air quality significantly, which, in turn, can result in a health improvement on the users. This paper aims to study natural ventilation strategies with the goal of improving indoor air quality in buildings used as elderly care centers.

To this end, a building located in Lisbon that serves as an elderly care center was chosen for the modeling of current ventilation conditions and the identification of measurements to be implemented in order to improve them.

The simulation work was based on the use of CONTAM, which allows the creation of models based on multi room networks, allowing the calculation of air flow. Through this program, the flow rate through outdoor and indoor openings was obtained and, consequently, the rate of air change of each compartment.

After processing the collected data through the CONTAM simulations, the importance of implementing a natural ventilation strategy was shown, aiming to improve the indoor air quality in this type of buildings.

Keywords: indoor air quality, natural ventilation, air change rate, elderly care center

Índice

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento do tema	1
1.2.	Objetivos do trabalho.....	2
1.3.	Organização e estrutura do trabalho.....	2
2.	Ventilação em edifícios de habitação	3
2.1.	Considerações Iniciais.....	3
2.2.	Qualidade do ar interior	3
2.3.	Fontes de contaminação do ar interior	4
2.3.1.	Atividade humana.....	4
2.3.2.	Materiais de construção	5
2.3.3.	Outros poluentes	6
2.4.	Mecanismos de ventilação natural	7
2.4.1.	Ação do vento.....	7
2.4.2.	Gradiente térmico	8
2.4.3.	Efeito combinado – ação do vento e gradiente térmico	9
2.5.	Estratégia de ventilação natural	9
2.5.1.	Ventilação em fachada única	9
2.5.2.	Ventilação cruzada	10
2.5.3.	Ventilação por tiragem térmica.....	11
2.6.	Métodos de determinação de taxas de ventilação	14
2.6.1.	Método do gás traçador – taxa de decaimento	14
2.6.2.	Método do gás traçador – injeção constante (passivo).....	15
2.7.	Métodos de determinação da permeabilidade ao ar	16
2.7.1.	Método de pressurização	16
2.7.2.	Método de pressurização dinâmico.....	17
2.8.	Estudos realizados com o CONTAM.....	17
3.	Metodologia de trabalho.....	19
3.1.	Considerações iniciais.....	19
3.2.	Descrição do caso de estudo	20
3.3.	Dados meteorológicos.....	23
3.4.	Coeficientes de pressão	27
3.4.1.	Cobertura.....	27
3.4.2.	Fachada Sul	27
3.4.3.	Fachada Norte.....	29
3.5.	Permeabilidade ao ar dos elementos	31
3.5.1.	Janelas e portas exteriores	32
3.5.2.	Portas interiores	34
3.5.3.	Conduções de ventilação	34

3.5.4.	Outros parâmetros.....	38
3.6.	Características do sistema de ventilação adotado.....	40
3.6.1.	Descrição geral do sistema	40
3.6.2.	Aberturas de admissão de ar	41
3.6.3.	Passagens de ar interiores.....	42
3.6.4.	Aberturas de exaustão de ar	42
3.7.	Ferramenta de cálculo.....	43
3.8.	Metodologia de simulação.....	43
3.9.	Requisitos de ar a assegurar	45
3.9.1.	NP1037-1:2015	45
3.9.2.	NP1037-2:2009	51
4.	Resultados	53
4.1.	Considerações iniciais.....	53
4.2.	Relação entre os caudais	54
4.3.	Resultados das simulações.....	54
4.3.1.	Modelo Base.....	54
4.3.2.	Fase 1.....	57
4.3.3.	Fase 2.....	59
4.3.4.	Fase 3.....	62
4.3.5.	Fase 4.....	64
4.3.6.	Fase 5.....	65
4.4.	Análise pormenorizada de compartimentos	66
4.4.1.	Inversão de fluxo de ar	67
4.4.2.	Taxa de renovação de ar	68
4.4.3.	Situação de potencial desconforto térmico	72
5.	Conclusões.....	77
5.1.	Considerações iniciais.....	77
5.2.	Conclusões finais	77
5.3.	Desenvolvimentos futuros	82
	Bibliografia.....	83
	Anexos.....	A1
	Anexo I – Exemplo de cálculo da velocidade do vento.....	A2
	Anexo II - Curvas características dos coeficientes de pressão da fachada Sul	A5
	Anexo III - Curvas características dos coeficientes de pressão da fachada Norte.....	A9
	Anexo IV – Resultados das simulações da Fase 1	A12
	Anexo V – Resultados das simulações da Fase 2.....	A16
	Anexo VI – Resultados das simulações da Fase 3.....	A18
	Anexo VII – Resultados das simulações da Fase 4.....	A20
	Anexo VIII – Resultados das simulações da Fase 5.....	A21

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Fluxo de ar por ação do gradiente de temperaturas (Adaptado de Liddament, M., 1996)	8
Figura 2.2 - Ventilação em fachada única ($W_{max} \approx 2,5H$) (Awbi, H., 2003)	10
Figura 2.3 - Ventilação cruzada ($W_{max} \approx 5H$) (Awbi, H., 2003)	11
Figura 2.4 - Ventilação por tiragem térmica com configuração adjacente, configuração sobreposta e configuração acessória (Adaptado de Mansouri, et al., 2003).....	12
Figura 2.5 - Ventilação por tiragem térmica assistida por chaminé solar (DeKay M. e Brown G, 2014)	12
Figura 2.6 - Ventilação por tiragem térmica assistida por zonas de transição (Adaptado de Mansouri, et al., 2003).....	13
Figura 2.7 - Ventilação por tiragem térmica assistida por fachada dupla (Adaptado de Ismail M. e Rahman A., 2012)	13
Figura 2.8 - Exemplo de curva de decaimento de gás traçador (Awbi, H., 2003)	15
Figura 2.9 - Cápsula emissora PFT (Cerqueira F., 2015).....	15
Figura 2.10 - Cápsula recetora (Cerqueira F., 2015)	16
Figura 2.11 - Porta ventiladora (Cerqueira F., 2015)	17
Figura 3.1 - Esquema de metodologia	20
Figura 3.2 - Localização do edifício e da sua envolvente	20
Figura 3.3 - Planta (lado esquerdo) e modelo de simulação (lado direito) do piso -1 e -2 do edifício	21
Figura 3.4 - Planta do rés-do-chão do edifício	22
Figura 3.5 - Planta (lado esquerdo) e modelo de simulação (lado direito) do piso 1 do edifício	22
Figura 3.6 - Planta (lado esquerdo) e modelo de simulação (lado direito) dos pisos 2 a 5.....	23
Figura 3.7 - Localização da coordenadas na fachada Sul.....	27
Figura 3.8 - Curva característica da zona S1 da fachada Sul	29
Figura 3.9 - Localização da coordenadas na fachada Norte	30
Figura 3.10 - Curva característica da zona N1 da fachada Norte.....	31
Figura 3.11 - Exemplo de janelas e portas exteriores.....	32
Figura 3.12 - Exemplo das portas interiores	34
Figura 3.13 - Curva de desempenho do ventilador mecânico	37
Figura 3.14 - Exemplo de aberturas.....	39
Figura 3.15 - Exemplo da hote de cozinha e esquentadores	40
Figura 3.16 - Esquema de simulações realizadas	44
Figura 3.17 - Gráfico das áreas úteis recomendadas para aberturas em paredes de fachadas	46
Figura 3.18 - Gráfico das áreas úteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço	48
Figura 3.19 – Gráfico das áreas das secções das condutas individuais lisas.....	49

Figura 3.20 – Modelo de simulação dos pisos 2 a 5.....	50
Figura 4.1 - Comparação da taxa de ventilação entre os PFT's e o modelo Base	56
Figura 4.2 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal do modelo Base (valores médios)	58
Figura 4.3 - Comparação entre abertura autorregulável e não regulável	60
Figura 4.4 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis	60
Figura 4.5 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis	61
Figura 4.6 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-2:2009 com aberturas não reguláveis	63
Figura 4.7 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-2:2009 com aberturas autorreguláveis	63
Figura 4.8 - Gráfico da temperatura exterior para o ano meteorológico de 2014.....	67
Figura 4.9 - Comportamento da taxa de renovação de ar (modelo Base).....	69
Figura 4.10 - Comportamento da taxa de renovação de ar - NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis	69
Figura 4.11 - Comportamento da taxa de renovação de - NP1037-2:2009 com aberturas não reguláveis	70
Figura 4.12 - Comportamento da taxa de renovação de ar NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis	70
Figura 4.13 - Comportamento da taxa de renovação de ar NP1037-2:2009 com aberturas autorreguláveis	71
Figura 4.14 - Comportamento da velocidade do vento ao longo do ano	71
Figura 4.15 - Situação de desconforto para o Quarto 2.3.....	72
Figura 4.16 - Situação de desconforto para o Quarto 3.4.....	73
Figura 4.17 - Situação de desconforto para o Quarto 4.5.....	73
Figura 4.18 - Situação de desconforto para o Quarto 5.6.....	74
Figura 4.19 - Situação de desconforto para o Quarto 5.2.....	76
Figura 5.1 - Comparação dos resultados para os Quartos.....	78
Figura 5.2 - Comparação dos resultados para a Sala do Piano	79
Figura 5.3 - Comparação dos resultados para a Sala de Estar	80
Figura 5.4 - Comparação dos resultados para a Sala de Refeições	81
Figura A.II.1 - Curva característica da zona S2 da fachada Sul	A5
Figura A.II.2 - Curva característica da zona S3 da fachada Sul	A5
Figura A.II.3 - Curva característica da zona S4 da fachada Sul	A6
Figura A.II.4 - Curva característica da zona S5 da fachada Sul	A6
Figura A.II.5 - Curva característica da zona S6 da fachada Sul	A7
Figura A.II.6 - Curva característica da zona S7 da fachada Sul	A7
Figura A.II.7 - Curva característica da zona S8 da fachada Sul	A8
Figura A.II.8 - Curva característica da zona S9 da fachada Sul	A8

Figura A.III.1 - Curva característica da zona N2 da fachada Norte	A9
Figura A.III.2 - Curva característica da zona N3 da fachada Norte	A9
Figura A.III.3 - Curva característica da zona N4 da fachada Norte	A10
Figura A.III.4 - Curva característica da zona N5 da fachada Norte	A10
Figura A.III.5 - Curva característica da zona N6 da fachada Norte	A11
Figura A.III.6 - Curva característica da zona N7 da fachada Norte	A11

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Coeficientes de pressão da fachada Sul	28
Tabela 3.2 - Coeficientes de pressão da fachada Norte.....	30
Tabela 3.3 - Permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores	33
Tabela 3.4 - Permeabilidade ao ar das aberturas.....	39
Tabela 3.5 - Áreas úteis recomendadas para aberturas em paredes de fachadas.....	45
Tabela 3.6 - Áreas úteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço.....	47
Tabela 3.7 - Valores mínimos recomendados para áreas das secções das condutas lutas individuais lisas	48
Tabela 3.8 - Caudais dimensionados segundo a NP1037-1:2015	50
Tabela 3.9 - Caudais dimensionados segundo a NP1037-2:2009 (em função da ocupação) ...	52
Tabela 4.1 - Comparação da taxa de ventilação entre os PFT's e o modelo Base.....	55
Tabela 4.2 - Comparação da taxa de ventilação entre o método do gás traçador e o modelo Base	56
Tabela 4.3 - Comparação da taxa de ventilação entre o método de decaimento e o modelo Base	57
Tabela 4.4 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 1 (valores médios).....	58
Tabela 4.5 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 2 (valores médios).....	59
Tabela 4.6 - Comportamento do vento (valores médios).....	61
Tabela 4.7 – Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 3 (valores médios)	62
Tabela 4.8 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 4.....	64
Tabela 4.9 - Comparação de resultados médios da Fase 2 e Fase 4 (valores médios)	65
Tabela 4.10 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 5 (valores médios).....	66
Tabela 4.11 - Percentagem de inversão do fluxo de ar	67
Tabela 4.12 - Percentagem de situação de potencial desconforto térmico	75
Tabela 4.13 - Percentagem de situação de desconforto para o Quarto 5.2.....	76
Tabela 5.1 - Comparação dos resultados	81
Tabela A.IV.1 - Resultados da Fase 1 - Modelo Base	A12
Tabela A.IV.2 - Resultados da Fase 1 - Portas I.S. abertas	A13
Tabela A.IV.3 - Resultados da Fase 1 - Portas com frinchas de 1 mm	A14
Tabela A.IV.4 - Resultados da Fase 1 - Portas com frinchas de 5 mm	A15
Tabela A.V.1 - Resultados da Fase 2 - NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis	A16
Tabela A.V.2 - Resultados da Fase 2 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis.....	A17
Tabela A.VI.1 - Resultados da Fase 3 - NP1037-2:2009 com aberturas não reguláveis	A18
Tabela A.VI.2 - Resultados da Fase 2 - NP1037-1:2009 com aberturas autorreguláveis.....	A19
Tabela A.VII.1 - Resultados da Fase 4 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis, conduta de 300 mm e caudal + 30%.....	A20

Tabela A.VIII.1 - Resultados da Fase 5 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis e caudal + 30%.....	A21
Tabela A.VIII.2 - Resultados da Fase 5 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis e caudal + 75%.....	A22

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Em anos recentes tem havido uma crescente preocupação que levou a introdução de critérios mais rigorosos relativamente à qualidade do ar interior dos edifícios.

Segundo o relatório anual da Organização das Nações Unidas, *World Population Prospect*, em 2015, Portugal é o quinto país com maior população idosa (OMS, 2015).

A grande maioria desta população permanece grande parte do dia em ambientes interiores. Também, os seus sistemas imunológicos se encontram num estado precário e muitas vezes apresentam sinais de problemas de saúde, nomeadamente problemas respiratórios e doenças crónicas (Huang, et al., 2013).

A qualidade do ar interior dos edifícios pode ser uma causa de agravamento destes problemas devido aos poluentes existentes no ambiente interior e a fraca resposta do sistema imunológico dos utentes. Deste modo, é necessária uma ventilação adequada de forma a remover o ar viciado e a presenças de odores desagradáveis.

A ventilação dos edifícios tem por base a admissão de ar novo através dos compartimentos principais e a exaustão do ar viciado pelos compartimentos de serviço. Existem duas técnicas distintas de ventilação, natural e mecânica que, quando combinadas, dão origem à ventilação mista. Estas estratégias de ventilação são realizadas através da existência de aberturas entre o interior e exterior do edifício.

Poucos têm sido os estudos realizados sobre esta temática, daí a importância da realização deste trabalho (Cerqueira, et al., 2014) (Aelenei, et al., 2015).

Outros estudos similares sobre o ventilação e qualidade do ar interior em creches e infantários já foram publicados. (Mendes, et al., 2014) (Viegas, et al., 2014). Os trabalhos anteriormente referidos têm sido cofinanciados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, com o objetivo principal de estabelecer associações entre as condições de ventilação desses locais, a qualidade do ar interior e a prevalência de doenças do foro respiratório.

A ventilação natural está inteiramente dependente da ação do vento e dos efeitos térmicos e, portanto, muitas vezes é impossível ter controlo sobre o seu desempenho. Já a ventilação mecânica recorre ao uso de equipamentos mecânicos. Finalmente, a ventilação mista pretende obter os melhores resultados de ambas as estratégias, tornando o sistema o mais eficiente possível.

1.2. Objetivos do trabalho

Este trabalho tem como principal objetivo simular o sistema de ventilação atualmente existente num edifício, que tem como utilização primária lar de idosos. Um segundo objetivo consiste em estudar a implementação de estratégias de ventilação natural que possam melhorar as taxas de renovação de ar dos compartimentos principais.

Foram utilizados dados previamente recolhidos deste mesmo edifício e, para recriar as condições iniciais, foram comparados com os resultados de medições de taxas de ventilação obtidos anteriormente com recurso ao método do gás traçador e à técnica dos perfluorocarbonos (PFT's – volatile per fluoro tracers).

Finalmente, o modelo de simulação é otimizado permitindo obter valores satisfatórios das taxas de ventilação de ar.

Com a realização deste trabalho espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para o aprofundamento do estudo desta temática.

1.3. Organização e estrutura do trabalho

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos.

No primeiro capítulo, pretende-se apresentar uma breve introdução da temática que será abordado nos capítulos seguintes, nomeadamente a importância da qualidade do ar interior e da taxa de ventilação do ar em edifícios de terceira idade.

No segundo capítulo, são apresentados os processos que promovem a ventilação natural, assim como a legislação, normalização e recomendações existentes em Portugal.

No terceiro capítulo, encontra-se a metodologia utilizada neste trabalho, nomeadamente, o enquadramento do edifício em estudo, as características da envolvente do edifício e as especificações das soluções de ventilação adotadas.

No quarto capítulo, é realizada a análise dos resultados obtidos para cada solução de ventilação implementada.

No quinto capítulo, são explanadas todas as conclusões retiradas ao longo da realização deste trabalho.

2. Ventilação em edifícios de habitação

2.1. Considerações Iniciais

A ventilação em edifícios tem como principal objetivo providenciar e melhorar as condições para um ambiente saudável. Existem dois fatores fundamentais para estarmos presentes num ambiente saudável: a qualidade do ar interior e o conforto térmico. Durante o projeto de dimensionamento do sistema de ventilação a ser implementado no edifício, ambos os fatores anteriormente descritos devem ser devidamente ponderados pois são imprescindíveis para o conforto e bem-estar dos utentes do edifício.

2.2. Qualidade do ar interior

Nos anos recentes tem havido um aumento na preocupação com a qualidade do ar interior em edifícios de habitação, pois é nos espaços interiores destes edifícios que os seres humanos passam a maior parte do seu dia.

A ANSI/ASHRAE Standard 62.1 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ASHRAE, 2013) é a norma americana que atualmente rege as medidas construtivas a adotar a fim de contribuir para o melhoramento da qualidade do ar interior em edifícios novos durante a fase de projeto, bem como, em edifícios existentes. Uma fraca qualidade do ar interior pode trazer consequências ao conforto, através da presença de odores e de ar viciado, efeitos agudos, por exemplo problemas pulmonares e efeitos crónicos.

Estudos anteriormente realizados mostram que a existência de uma qualidade do ar interior deficiente pode prejudicar a saúde, o bem-estar humano e a produtividade (Sarbu, et al., 2013). As causas principais associadas a esta diminuição da qualidade do ar interior são a fraca introdução de ar novo no interior dos edifícios e a fraca exaustão do ar viciado e dos produtos de combustão. Estes poluentes podem ter origem externa, por exemplo emissão de gases pelos veículos que pelo efeito do vento são transportados para o interior do edifício, e interna, que podem estar associados a fontes de poluição como o mobiliário, os ocupantes e os equipamentos, entre outros.

A fraca qualidade do ar interior deve-se em parte à utilização de elementos na envolvente dos edifícios com baixa permeabilidade ao ar, no uso de materiais de construção e na presença de mobiliários com taxas elevadas de emissão de poluentes, a presença de componentes eletrónicos no interior, na reduzida manutenção realizada aos equipamentos de ventilação e na diminuição das taxas de ventilação com o intuito de reduzir o consumo de energia.

2.3. Fontes de contaminação do ar interior

Em edifícios novos, o nível de poluentes presentes no ar interior é frequentemente elevado. As causas estão relacionadas com a utilização de materiais com elevada emissão de poluentes e/ou uso de equipamentos igualmente emissores de poluentes, que pode provocar em conjunto uma qualidade do ar interior muito fraca quando comparado com os níveis equivalentes existentes ao nível do ar exterior.

Se a qualidade do ar interior não apresentar níveis satisfatórios, pode causar efeitos indesejáveis ao ser humano, nomeadamente efeitos imediatos, destacando-se os odores desagradáveis, efeitos a curto prazo, por exemplo, irritações e infeções nas vias respiratórias, nos olhos e na pele e efeitos a longo prazo.

As fontes de contaminação do ar interior podem ser divididas em três grandes grupos, provocados pela atividade humana, pelos materiais de construção e outros poluentes. Podem ser destacados como os principais agentes da contaminação do ar interior, os compostos orgânicos, o dióxido de carbono, os formaldeídos, o monóxido de carbono e o vapor de água.

2.3.1. Atividade humana

Através do sistema respiratório humano são produzidos dióxido de carbono e vapor de água, sendo que a produção destes está associada ao metabolismo de cada pessoa. Assim, cada atividade pode gerar quantidades diferentes de dióxido de carbono e vapor de água.

O dióxido de carbono trata-se de um gás incolor e inodoro e com produção proporcional ao metabolismo de cada pessoa (ISO 8996, 2004). Também pode ser produzido pelo fumo do tabaco e pela combustão dos aparelhos do tipo A (aparelho concebido para funcionar não ligados a uma conduta de evacuação dos produtos da combustão para o exterior do local onde os aparelhos estão instalados) e tipo B (aparelho concebido para ser ligado a uma conduta de evacuação dos produtos da combustão para o exterior do local onde ele está instalado) (NP1037-1, 2015).

A Organização Mundial da Saúde não considera o dióxido de carbono como sendo um gás tóxico e não define um valor máximo para o interior das habitações. Relativamente ao conforto, a ASHRAE define um valor máximo de 700 ppm acima da concentração no exterior (ASHRAE, 2013). Em Portugal, o valor absoluto máximo definido é de 1250 ppm (RECS, 2013). Todavia, estudos realizados em escolas mostram que concentrações acima de 1000 ppm podem ter influência na qualidade do ar interior e provocar desconforto e dores de cabeça (Dias, et al., 2014).

O vapor de água é produzido durante a respiração. As alterações da sua concentração no ambiente vão influenciar drasticamente o conforto dos ocupantes. Quando as concentrações são elevadas pode provocar a ocorrência de condensações superficiais, que por sua vez podem provocar o aparecimento e desenvolvimento de fungos e bolores e a degradação dos elementos construtivos.

O nível de vapor de água no ar é muitas vezes medido em percentagem, relacionando a pressão de vapor de água com a pressão de saturação à mesma temperatura, denominando-se como humidade relativa (Henriques, F., 2011). De modo geral, níveis entre 50% a 70% de humidade relativa são considerados adequados para o conforto no interior dos edifícios.

Níveis baixos de humidade relativa, segundo a BRE Digest (BRE, 1985), podem contribuir para uma maior probabilidade de infeções nas vias respiratórias. Além disso, está muitas vezes associada a sintomas de irritação da garganta, nariz e olhos. Por outro lado, níveis elevados de humidade relativa estão na origem de desconforto, dificultando o mecanismo de transpiração pela pele humana. Pode causar irritações e maus odores, e em casos de condensações frequentes pode propiciar o desenvolvimento de fungos e bolores, estando na origem de alergias e em alguns casos de asma (BRE, 1985).

Em espaços interiores bem ventilados, a humidade relativa é controlada pela temperatura interior e humidade relativa exterior. Esta pode ser influenciada pela atividade física dos ocupantes, bem como pelos elementos de mobiliários presentes no interior do edifício.

A ASHRAE define como humidade relativa de referência um valor de 60% (ASHRAE, 2013). Em Portugal, o valor de referência é de 50%, segundo o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006), entretanto substituído pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH, 2013).

2.3.2. Materiais de construção

Os materiais de construção podem libertar poluentes nocivos para o ser humano, sendo os que causam mais impacto os compostos orgânicos voláteis e o formaldeído.

Os compostos orgânicos voláteis podem ser encontrados em materiais utilizados no revestimento interior de edifícios, nos seus componentes ou em mobiliário. Alguns exemplos destes são aglomerados de madeira, cola, solventes e tintas. Podem também ser encontrados em produtos de limpeza e no tabaco.

Como consequências para a saúde humana, estes podem provocar problemas no sistema respiratório, provocando dores de cabeça, irritações na pele e nos olhos, perturbações do sistema nervoso central e periférico e, em elevada concentração, pode estar na origem de

aparecimento de cancro. Alguns destes compostos mais comuns em ambientes interiores são a acetona, o benzeno, o fenol e o tolueno (OMS, 2013).

O formaldeído é um gás incolor com um odor forte, sendo facilmente detetado pelo olfato humano. São exemplos de materiais com a presença deste gás as resinas utilizadas nos aglomerados de madeira e a combustão dos aparelhos de aquecimento e confeção de alimentos e de cigarros. Quando um ser humano é exposto ao formaldeído podem ocorrer dores de cabeça, irritação nos olhos, náuseas, sensação de fadiga, entre outros (Walsh, et al., 1984).

2.3.3. Outros poluentes

Dentro deste grupo, podem-se destacar como principais poluentes do ambiente interior dos edifícios os microrganismos, o ozono, as partículas e o radão.

Os microrganismos presentes no ar interior dos edifícios são os ácaros, as bactérias, os fungos e microrganismos provenientes de animais de estimação e têm como consequência direta o aparecimento de algumas alergias, por exemplo, asma e rinites. Em ambientes húmidos, é propício o aparecimento e desenvolvimento de bactérias e fungos.

O ozono pode ser encontrado no ar exterior. A sua concentração varia em função da altitude e do clima. Este pode ser igualmente produzido por equipamentos elétricos, nomeadamente aparelhos electrostáticos, fotocopiadoras e impressoras laser. Em concentrações elevadas, pode ter efeitos muito negativos para o ser humano, tais como mudanças fisiológicas e patológicas. Tanto a Organização Mundial de Saúde como a ASHRAE definem como limite aceitável 100 µgm ou 0,05 ppm para 8h de exposição.

As partículas presentes no interior dos edifícios podem variar em tamanhos, formas e serem formadas por diferentes compostos biológicos e químicos. Devido à sua composição química e forma geométrica variável os efeitos no organismo humano são igualmente variados.

A influência destas partículas deve-se a diversos fatores sendo os mais relevantes as condições do ambiente, os materiais de construção, o sistema de ar condicionado, a taxa e o tipo de ventilação. Além disso, muitas destas partículas podem migrar do exterior para o interior através de aberturas de frinchas, janelas e portas.

Em relação às consequências, não é muito concreto os danos que possam causar no sistema respiratório de uma pessoa saudável, mas segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2014) a curto prazo podem provocar sintomas como alergias, falta de ar, irritação dos olhos e dos pulmões, náuseas e tonturas.

O Radão é um gás incolor, inodoro e insípido, que é radioativo encontrando-se na natureza, nomeadamente no solo. Por ser um gás carcinogénico, pode provocar o aparecimento de casos de cancro nos pulmões em populações expostas.

Em Portugal e de acordo com a legislação o limite máximo é de 400 Bequerel, por metro cúbico. A taxa de concentração deste gás vai variar com a localização do edifício e a origem dos materiais. Deste modo, é importante conhecer o historial geológico do local de implantação do edifício e da origem dos materiais utilizados na construção.

2.4. Mecanismos de ventilação natural

A ventilação natural em edifícios é realizada devido a diferenças de pressões entre o interior e exterior graças à ação do vento e ao gradiente térmico ou pela combinação de ambos os efeitos. Durante o Inverno o gradiente térmico é particularmente importante para promover a ventilação natural e no restante ano a ação do vento assume uma importância maior. Uma vez que é impossível controlar estes dois fenómenos, não é possível garantir a correta renovação do ar interior.

2.4.1. Ação do vento

A ação do vento é o fenómeno que mais contribui para a ventilação natural. No presente trabalho, apenas se teve em conta a velocidade e o rumo do vento que incide sobre as superfícies exteriores do edifício e o seu efeito na ventilação natural. As aberturas existentes nas fachadas são afetadas pela pressão que o vento exerce nesse local. Essa pressão do vento sobre uma superfície, neste caso fachadas e cobertura do edifício, é dada pela equação:

$$P_w = 0,5 * C_p * p_o * v^2 \quad 2.1$$

Sendo:

P_w : pressão do vento sobre determinado ponto da superfície do edifício [Pa];

C_p : coeficiente de pressão pela ação do vento [-];

p_o : massa volúmica do ar à temperatura e pressão de referência, T_0 e p_0 [kg/m³];

v : velocidade do vento à cota considerada [m/s].

O coeficiente de pressão devido a ação do vento é calculado através da equação:

$$C_p = \frac{p - p_0}{0,5 * \rho_0 * v^2} \quad 2.2$$

Em que:

C_p : Coeficiente de pressão pela ação do vento [-];

p : pressão estática em determinado ponto da superfície [Pa];

p_0 : pressão estática de referência [Pa];

ρ_0 : massa volúmica do ar à temperatura e pressão de referência, T_0 e p_0 [kg/m³];

v : velocidade do vento a determinada altura [m/s].

Um coeficiente de pressão positivo, traduz-se por uma pressão criada superior à pressão estática do vento devido à conversão da quantidade de movimento em pressão. Um coeficiente de pressão negativo trata-se de uma pressão negativa junto à superfície da fachada oposta ou paralela à direção do vento, ou seja, a pressão é inferior à pressão estática do vento em resultado dos vórtices criados pelas arestas das fachadas.

2.4.2. Gradiente térmico

O gradiente térmico, mais conhecido por efeito chaminé, é a circulação de caudais de ar, devido à diferença de temperatura e da massa volúmica do ar de dois espaços (figura 2.1).

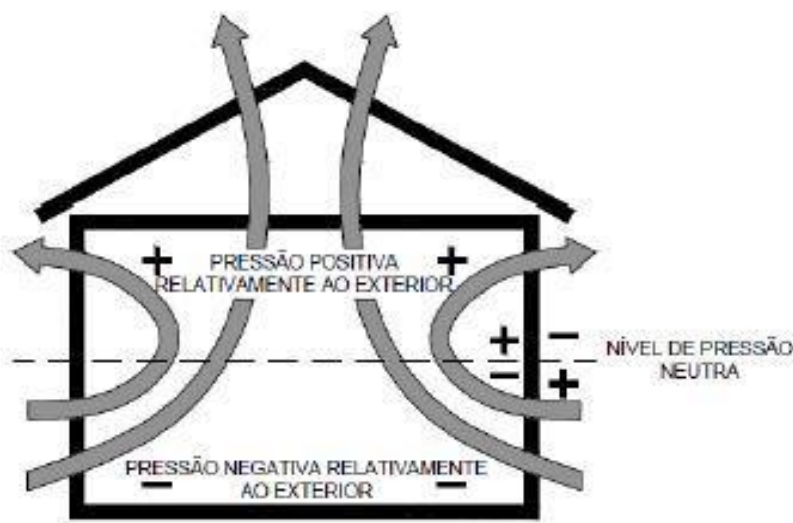


Figura 2.1 - Fluxo de ar por ação do gradiente de temperaturas (Adaptado de Liddament, M., 1996)

O ar quente como é menos denso permite a sua ascensão sendo substituído por outra massa de ar de maior massa volúmica, devido à diferença de pressão estática. Nos edifícios de habitação, parte da ventilação resulta deste efeito, aumentando com a diferença térmica e da distância das aberturas. Para uma ventilação eficaz é necessário que a diferença entre a temperatura média no interior do edifício e a temperatura no exterior seja maior que 8 graus centígrados. (NP1037-1, 2015).

2.4.3. Efeito combinado – ação do vento e gradiente térmico

O efeito combinado da ação do vento e do gradiente térmico, que é o que ocorre na realidade, vai determinar os caudais de ventilação que atravessarão cada abertura na envolvente do edifício. Quando se tratar de uma ação conjunta, o caudal de ventilação irá aumentar e irá diminuir quando se tratar de uma ação oposta. O balanço destas ações irá definir como a ventilação natural ocorrerá no interior do edifício.

2.5. Estratégia de ventilação natural

A ventilação natural permite o escoamento do ar através do edifício e da sua envolvente promovido pelas ações naturais, sendo necessário a contabilização dos efeitos do clima, particularmente do vento e da temperatura, as características construtivas e do espaço envolvente ao edifício.

2.5.1. Ventilação em fachada única

A ventilação em fachada única é a maneira mais simples de ventilar um espaço através da introdução de uma ou várias aberturas colocadas numa fachada apenas, permitindo a admissão e exaustão do ar, conforme observado na figura 2.2.

Caso exista apenas uma única abertura, tanto a admissão como a exaustão serão feitas pela mesma abertura. Caso existam várias aberturas, a admissão e exaustão serão feitas em função da cota a que se encontre a abertura por diferença de temperatura.

De forma a aproveitar a ação do vento, estas aberturas devem ser colocadas na fachada exposta a ventos dominantes do local onde o edifício está inserido e através da diferença de pressão irão promover a ventilação, para situações em que os coeficientes de pressão são diferentes. Caso estes forem iguais, a ação do vento contribui muito pouco. Só com efeito das turbulências locais é que vão ser criadas pequenas diferenças de pressão que vão contribuir para a ventilação.

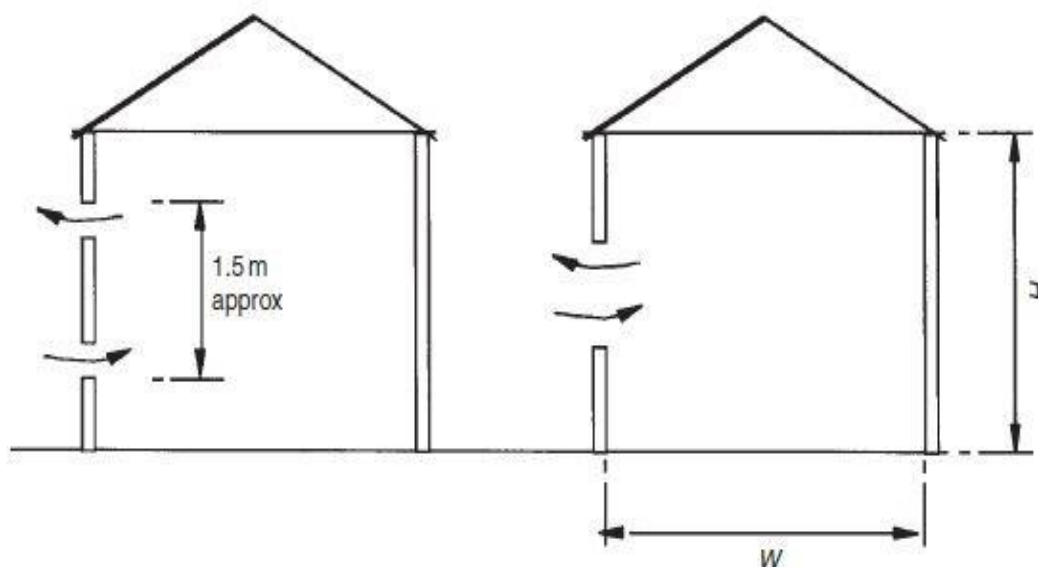


Figura 2.2 - Ventilação em fachada única ($W_{max} \approx 2,5H$) (Awbi, H., 2003)

2.5.2. Ventilação cruzada

A ventilação cruzada é uma estratégia onde a admissão é feita numa fachada, preferencialmente exposta a ventos dominantes, e a exaustão pela fachada oposta, como ilustrado na figura 2.3. Os diferentes coeficientes de pressão irão permitir a criação de um diferencial de pressões promovendo a ventilação.

Além disso, é necessário que não existam interrupções na passagem de ar entre as aberturas, portanto é imprescindível que as portas interiores sejam permeáveis mesmo quando se encontram fechadas, sendo isso assegurado pela existência de folgas inferiores ou grelhas nestes componentes de comunicação entre os vários compartimentos.

Existem outras técnicas para a ventilação cruzada, sendo uma delas por torres de vento. Nesta estratégia é colocado ao nível da cobertura uma torre que irá permitir a entrada de ar impulsionado pelo vento e de seguida este será direcionado para os níveis inferiores, de modo a permitir a ventilação cruzada.

Ainda outra técnica de ventilação cruzada é o recurso a condutas em espaços interiores onde não exista a comunicação direta com o exterior ou sem exposição a ventos predominantes, permitindo a renovação de ar. Esta estratégia apresenta algumas desvantagens na sua execução em particular, nos edifícios multifamiliares, necessitando de condutas de grande secção devido envolver pressões muito reduzidas.

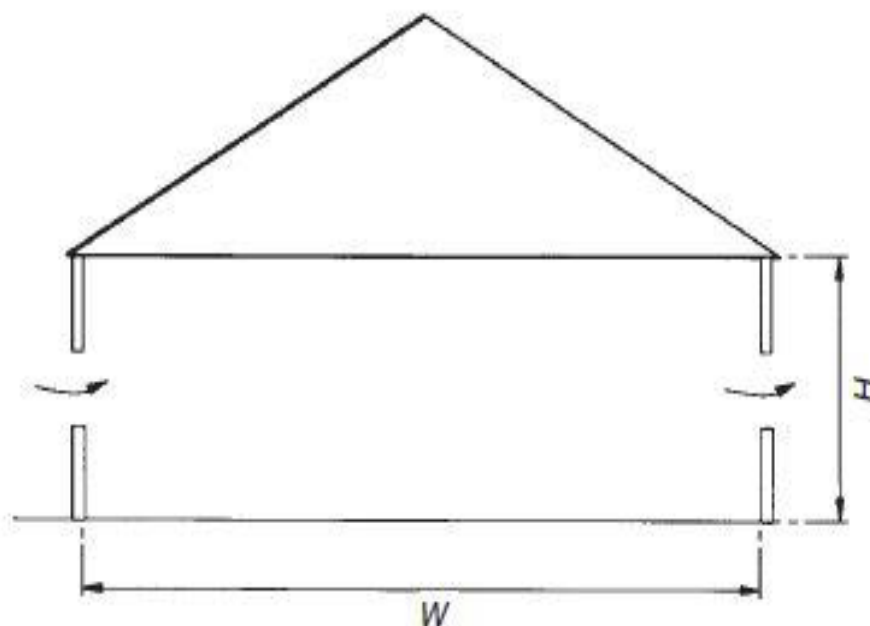


Figura 2.3 - Ventilação cruzada ($W_{max} \approx 5H$) (Awbi, H., 2003)

2.5.3. Ventilação por tiragem térmica

A ventilação por tiragem térmica é uma estratégia onde se recorre ao uso de condutas verticais, sendo que o princípio se baseia na diferença da temperatura entre o interior e exterior do compartimento.

A admissão de ar é realizada por aberturas na fachada ou por condutas. Em relação à exaustão e para garantir que a estratégia seja eficaz, não existindo assim refluxos, ou seja, inversão do sentido do movimento do ar, é indispensável que a conduta seja alta o suficiente, evitando a ocorrência de refluxos, que esta se encontre mais elevada que o ponto mais alto da cobertura, que tenha bom isolamento térmico e forte inércia térmica, mantendo as temperatura elevadas no interior desta e que a extremidade da conduta deve ter características que favoreçam depressões, permitindo o movimento do ar no sentido ascendente.

A figura 2.4 ilustra três variações a esta estratégia, a primeira configuração adjacente onde cada compartimento é ventilado individualmente, a segunda configuração sobreposta onde todos os compartimentos estão parcialmente sobrepostos, mas cada um tem ventilação independente e configuração acessória onde todos os compartimentos estão completamente sobrepostos existindo uma conduta coletiva de evacuação.

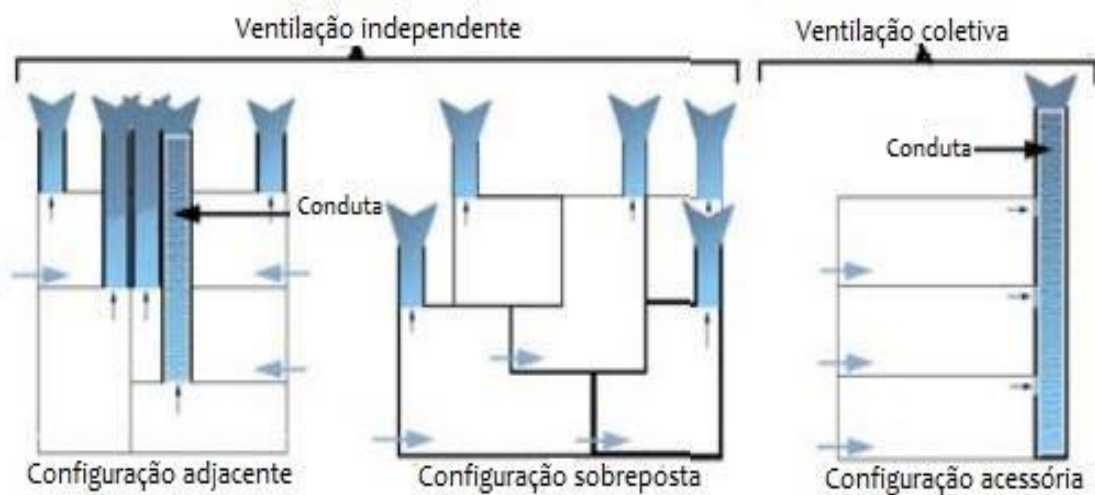


Figura 2.4 - Ventilação por tiragem térmica com configuração adjacente, configuração sobreposta e configuração acessória (Adaptado de Mansouri, et al., 2003)

Um caso particular, é a ventilação por tiragem térmica assistida por chaminé solar, onde são usados materiais de construção com grande capacidade de absorção de radiação solar, aquecendo o ar no interior da conduta, criando as condições necessárias para o efeito de tiragem térmica, conforme ilustrado na figura 2.5.

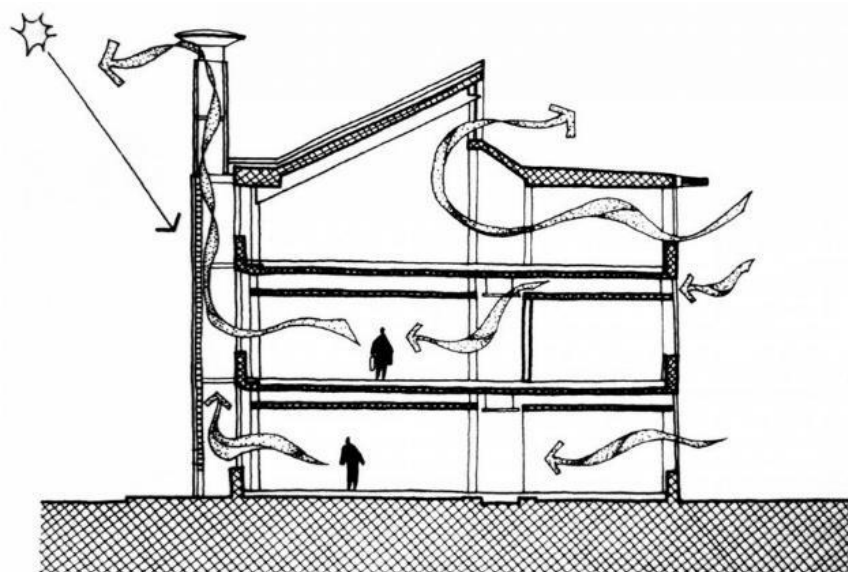


Figura 2.5 - Ventilação por tiragem térmica assistida por chaminé solar (DeKay M. e Brown G, 2014)

Esta estratégia, ventilação por tiragem assistida, pode ser feita através de zonas de transição, espaços interiores onde não existem requisitos de ventilação, por exemplo as caixas de escada. O facto destes espaços estarem separados de zonas onde é necessário cumprir os requisitos de ventilação, permite criar um gradiente térmico e de pressão de modo a permitir a ventilação da habitação.

A figura 2.6 mostra três configurações para as zonas de transição, sendo elas, zona de transição distanciada, onde não existe qualquer tipo de comunicação entre elas, zona de transição adjacente, onde existe comunicação indireta entre elas e zona de transição sobreposta, onde existe comunicação direta entre elas.

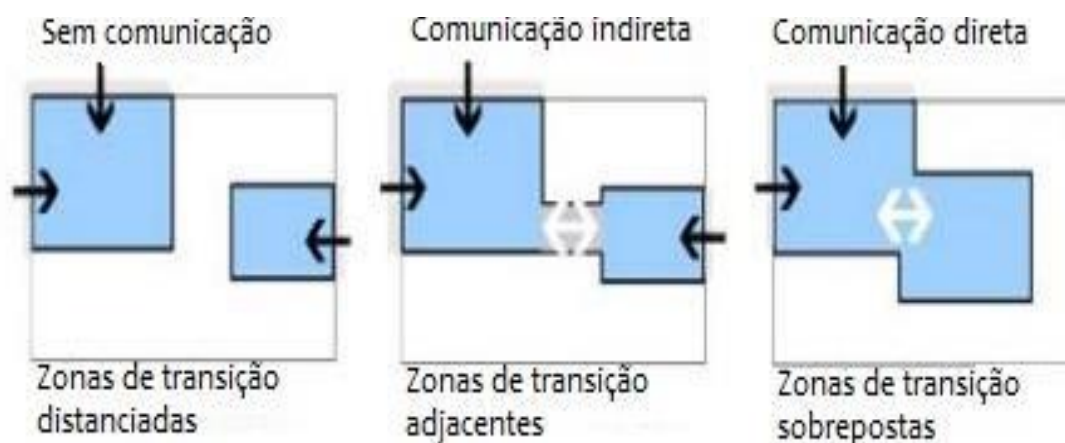


Figura 2.6 - Ventilação por tiragem térmica assistida por zonas de transição (Adaptado de Mansouri, et al., 2003)

Ainda outro caso particular, ilustrado na figura 2.7, é a ventilação por tiragem térmica assistida por fachada dupla, onde se recorre ao uso de uma chaminé solar contínua ao longo da fachada.

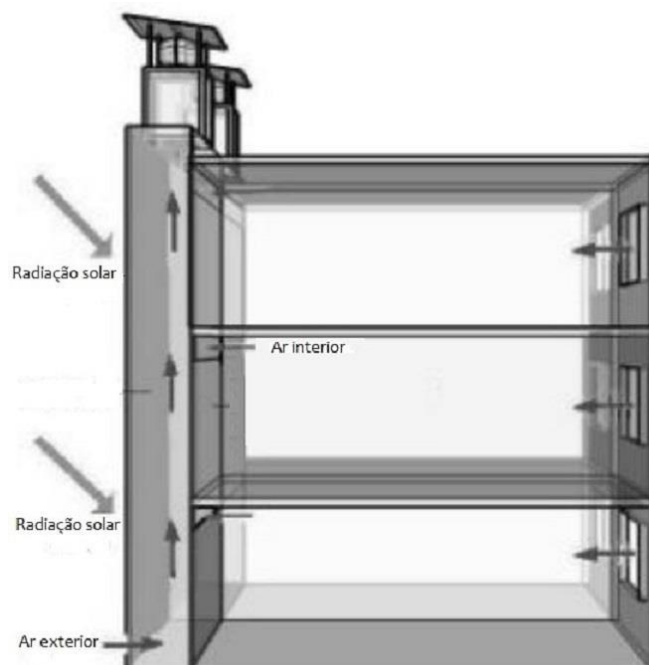


Figura 2.7 - Ventilação por tiragem térmica assistida por fachada dupla (Adaptado de Ismail M. e Rahman A., 2012)

A configuração construtiva da fachada dupla, montagem de duas superfícies envidraçadas separadas entre si, habitualmente, de 0,60 m, permite a existência de uma caixa de ar ventilada de grandes dimensões fazendo efeito de chaminé que devido à diferença de pressão e temperatura gerada pela radiação solar mais o efeito de estufa, originado na caixa de ar, permite o funcionamento deste sistema.

2.6. Métodos de determinação de taxas de ventilação

São muitas as maneiras de determinar a taxa de ventilação, mas a mais relevante e utilizada na determinação dos caudais dos vários elementos, por exemplo portas e janelas, deste edifício é o método do gás traçador pela taxa de decaimento e pela injeção constante (passivo).

2.6.1. Método do gás traçador – taxa de decaimento

Este método é o mais comum para determinar a taxa de ventilação. Tem por base a introdução de um gás, que não se encontre no espaço em estudo e cuja evolução da concentração ao longo do tempo se regista (Liddament, 1996).

A lei da conservação da massa do ar e do gás traçador são aqui aplicadas, garantindo sempre que possível que a concentração do gás é homogénea no espaço em estudo, existe uma mistura perfeita e imediata entre o ar e o gás traçador e que a produção do gás traçador não altera a massa do ar (Cerqueira F., 2015).

Para monitorizar a taxa de decaimento do gás traçador pode-se retirar uma amostra do ar e posteriormente analisá-lo em laboratório ou realizar uma análise em campo. Relativamente ao primeiro método tem como principal vantagem que não necessita de pessoal qualificado para a recolha das amostras de ar, permitindo que em laboratório, com recurso a equipamento mais preciso que aquele utilizado em campo, se realize as análises ao ar.

Para o segundo método, é necessário utilizar equipamento portátil que consiga realizar as medições necessárias, sendo os mais comuns, espectrómetro de absorção de raios infravermelhos e cromatógrafo de gases. Estes equipamentos gravam a concentração do gás traçador permitindo desenhar uma curva (figura 2.8) do decaimento da concentração do gás traçador em função do tempo (Awbi, H., 2003).

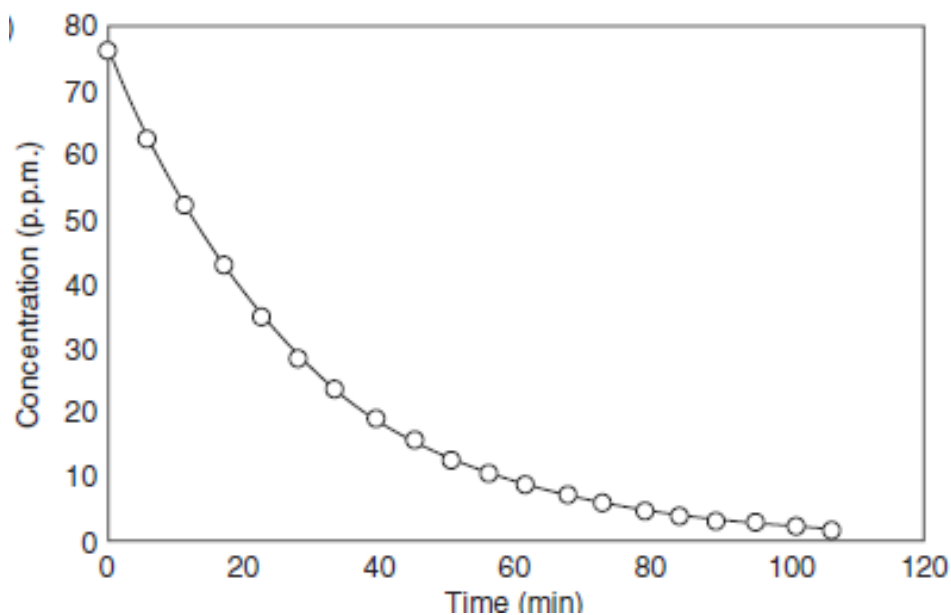


Figura 2.8 - Exemplo de curva de decaimento de gás traçador (Awbi, H., 2003)

2.6.2. Método do gás traçador – injeção constante (passivo)

Este método, diferentemente do anteriormente apresentado, utiliza mais que um tipo de gás. Trata-se de uma técnica passiva recorrendo a cápsulas emissoras com traçadores voláteis de perfluorocarbonos (PFT's – volatile per fluoro tracers), libertando o gás traçador durante um período previamente definido no interior do compartimento em estudo, enquanto a cápsula recetora absorve esse gás traçador.

Esquemas dessas cápsulas podem ser vistos nas figuras 2.9 e 2.10 (Cerqueira F., 2015).

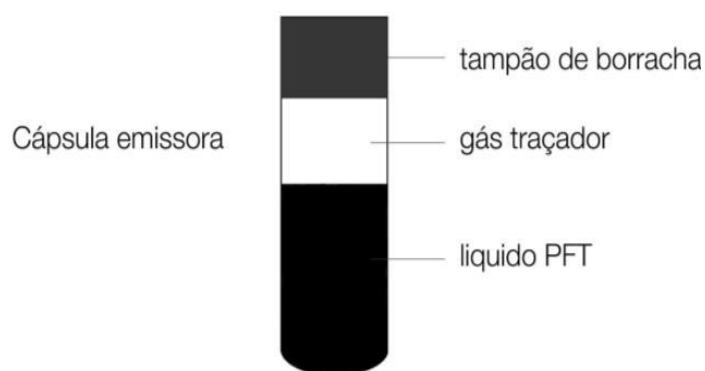


Figura 2.9 - Cápsula emissora PFT (Cerqueira F., 2015)

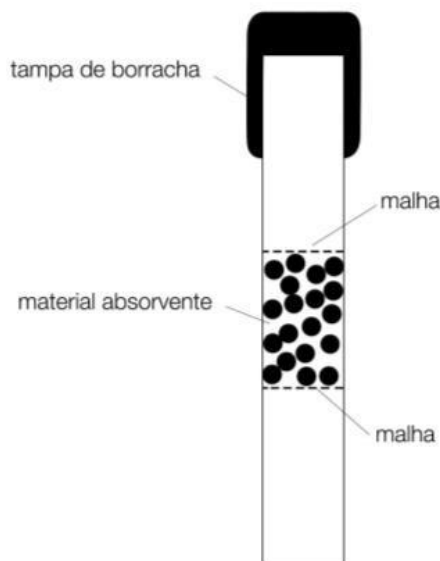


Figura 2.10 - Cápsula recetora (Cerqueira F., 2015)

Durante o teste é injetado um gás com caudal constante através de um cilindro com válvula que permite regular o caudal desejado. A análise ao gás é realizada pelos mesmos métodos utilizados na taxa de decaimento. É utilizado equipamento que permita a monitorização e análise tanto da injeção do gás e a taxa de concentração deste (Awbi, H., 2003).

2.7. Métodos de determinação da permeabilidade ao ar

De modo a determinar a permeabilidade ao ar dos componentes existentes no edifício foi necessário recorrer ao método de pressurização. Além deste, existe ainda outro método para a determinação da permeabilidade que utiliza uma técnica de pressurização mais elaborada, a qual não foi utilizada neste edifício.

2.7.1. Método de pressurização

O método de pressurização recorre ao uso de uma porta ventiladora, ilustrado na figura 2.11, com uma ventoinha, criando diferenças de pressão incrementais entre o interior e exterior entre 10 Pa a 75 Pa. Para cada incremento de pressão é fornecida uma taxa de ventilação. A relação entre a pressão induzida e a taxa de ventilação é registada num computador, com software específico. Este método deve ser efetuado durante períodos de pouco vento (Cerqueira F., 2015).



Figura 2.11 - Porta ventiladora (Cerqueira F., 2015)

2.7.2. Método de pressurização dinâmico

Diferente do método anteriormente enunciado, o método de pressurização dinâmico permite medir a permeabilidade para diferenças de pressão na ordem dos 4 Pa. Esta técnica ainda se encontra em desenvolvimento, mas os resultados iniciais obtidos com o método de pressurização dinâmico foram sempre inferiores aos obtidos pelo método de pressurização normal (Awbi, H., 2003).

2.8. Estudos realizados com o CONTAM

Diversos estudos têm sido realizados com o auxílio da ferramenta de cálculo, o CONTAM, onde os objetivos primários são determinar e melhorar a qualidade do ar interior.

Na Grécia, foi modelado com o CONTAM um apartamento onde se pretendia averiguar a qualidade do ar interior e como esta é afetada pelos gases poluentes produzidos dentro da habitação. Os resultados obtidos permitiram concluir que a influência dos gases poluentes para a saúde humana vai depender da taxa de ventilação e do período em que a pessoa se encontra exposta ao gás poluente (Temenos, et al., 2015).

Foi feito um estudo com o objetivo de melhorar a ventilação natural em jardins de infância em Portugal, muito semelhante ao trabalho presente nesta dissertação. A conclusão chegada foi que é possível melhorar as taxas de ventilação através da implementação de uma estratégia de ventilação que se baseia na abertura de janelas e portas (Viegas, et al., 2014).

Outro trabalho neste campo, foi desenvolvido pela Universidade de Taiwan, onde foi investigado a importância da qualidade do ar interior em centros de cuidados contínuos. Os resultados obtidos mostram que o número de utentes e o número de visitantes são fatores relevantes para a qualidade do ar interior neste tipo de edifícios (Huang, et al., 2013).

Em 2008 foi apresentado um estudo sobre estratégias de ventilação em escolas no Reino Unido, de modo, a melhorar a qualidade do ar interior e reduzir os níveis de dióxido de carbono. A conclusão deste trabalho mostra que quando aplicada uma estratégia de ventilação adequada é possível reduzir os níveis de dióxido de carbono (Dutton, et al., 2008).

3. Metodologia de trabalho

3.1. Considerações iniciais

O objetivo principal deste trabalho é simular o sistema de ventilação atualmente existente num edifício, que tem como utilização primária lar de idosos. Um segundo objetivo consiste em estudar a implementação de estratégias de ventilação natural que possam melhorar as taxas de renovação de ar dos compartimentos principais.

Começou-se por recriar as condições presentes no edifício, recorrendo a ensaios de campo previamente realizados. Recorreu-se ainda a normas e à legislação portuguesa em vigor, nomeadamente à NP1037-1:2015 “Ventilação de edifícios com ou sem aparelhos a gás. Parte 1. Edifícios de habitação. Ventilação natural” (NP1037-1, 2015) e NP1037-1:2009 “Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás e Parte 2: Edifícios de habitação; Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples” (NP1037-2, 2009).

Relativamente à legislação, o Regulamento do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE, 2013), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH, 2013), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS, 2013). O novo SCE transpõe a Diretiva 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio, e assenta numa autonomização clara entre o regime aplicável aos edifícios de habitação e o regime aplicável aos edifícios de comércio e serviços.

No âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, SCE, foi desenvolvido um método de cálculo que permite avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação no contexto da regulamentação do desempenho térmico e energético dos edifícios e da verificação do requisito mínimo de ventilação. Este método de cálculo encontra-se definido na Portaria n.º 349-B/2013, no Despacho n.º 15793-E/2013 (Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes.), no Despacho n.º 15793-I/2013 (Necessidades nominais anuais de energia útil – Fórmula de cálculo.) e no Despacho n.º 15793-K/2013 (Parâmetros térmicos). Permite obter taxas de renovação de ar da fração na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento, a taxa de renovação de ar do edifício de referência, o consumo de energia dos ventiladores, o efeito de recuperação de calor na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento.

Na figura 3.1 é ilustrado, de forma esquematizada, toda a metodologia utilizada para obter os resultados das simulações.

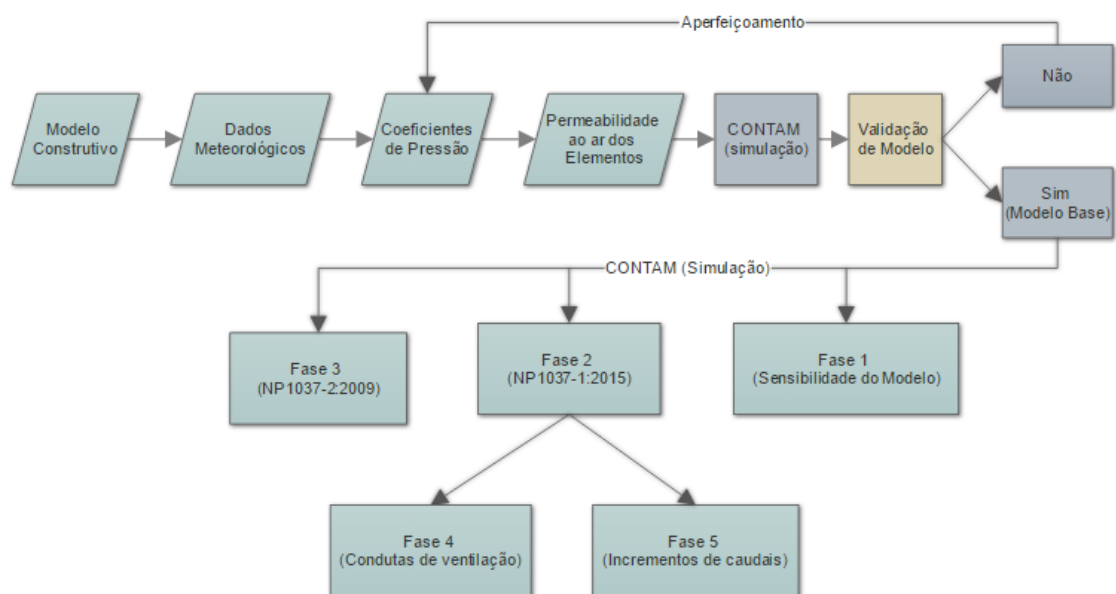


Figura 3.1 - Esquema de metodologia

3.2. Descrição do caso de estudo

O edifício em estudo, A na figura 3.2, localizado em Lisboa, encontra-se inserido num conjunto de outros edifícios dispostos em banda.



Figura 3.2 - Localização do edifício e da sua envolvente

O edifício A tem 8 pisos, sendo dois deles subterrâneos. Relativamente à cobertura, esta tem pouca inclinação, pelo que foi considerada quase plana. Como este edifício foi especialmente concebido para servir como lar de idosos, é composto maioritariamente por quartos com instalação sanitária privativa.

O edifício apresenta apenas duas fachadas expostas, pois as restantes encontram-se adjacentes a outros edifícios. O pé-direito dos pisos é de 2,70 m.

O piso -2 e -1 servem como estacionamento e estão ligados ao restante do edifício por uma antecâmara que dá acesso à caixa de escada que termina no rés-do-chão e a uma segunda antecâmara onde se encontram dois ascensores que comunicam com o todo o edifício, como ilustrado na figura 3.3.

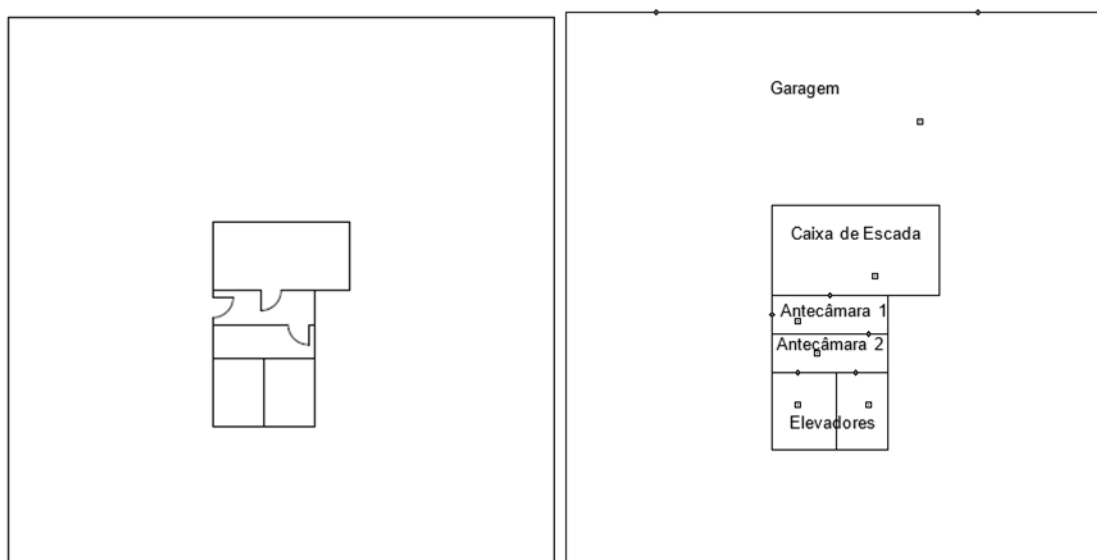


Figura 3.3 - Planta (lado esquerdo) e modelo de simulação (lado direito) do piso -1 e -2 do edifício

O rés-do-chão contempla o hall do edifício, a sala do diretor e de reuniões, duas instalações sanitárias, uma sala de estar com 96,29 m² (sala do piano) com uma instalação sanitária pouco frequentada pelos utentes e uma loja com uma instalação sanitária, com utilização prevista como sala de convívio, que apenas comunica por uma porta com o edifício, encontrando-se esta sempre fechada. A caixa de escada proveniente do piso -1 e -2 termina neste piso e começa uma nova caixa de escada, totalmente independente da anterior, que dá acesso até ao último piso, conforme a figura 3.4.

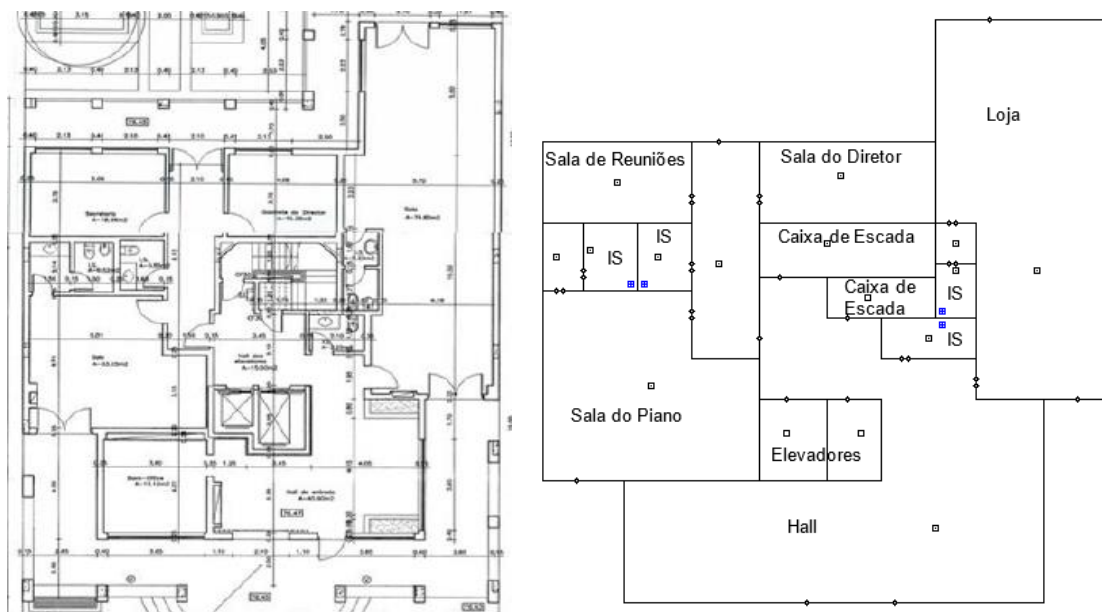


Figura 3.4 - Planta do rés-do-chão do edifício

No piso 1 encontra-se a cozinha, a sala de refeições e a sala de estar, sendo que estas duas últimas são alvo de estudo, com 180,36 m² e 278,80 m², respetivamente. Neste piso também se podem encontrar três instalações sanitárias, sendo duas delas para os utentes, diferenciadas pelo sexo, e uma terceira para uso exclusivo dos funcionários, como ilustrado figura 3.5.

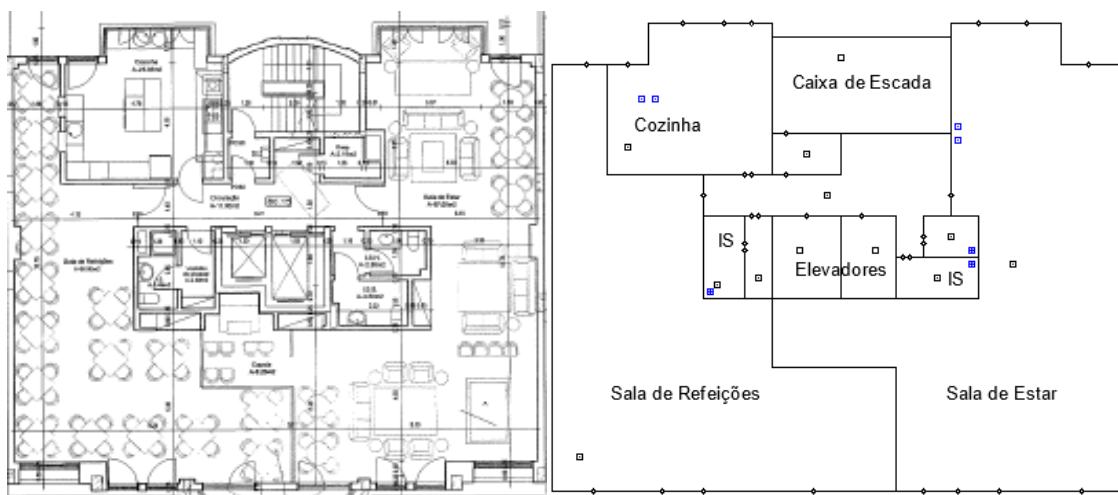


Figura 3.5 - Planta (lado esquerdo) e modelo de simulação (lado direito) do piso 1 do edifício

Os pisos 2 a 5 têm exatamente a mesma geometria. O quarto 1 tem 15,05 m² e uma instalação sanitária com 4,98 m². O quarto 2 tem 14,97 m² e não tem instalação sanitária no compartimento, esta encontra-se no hall e tem 4,75 m². O quarto 3 tem 24,50 m² e uma instalação sanitária com 5,68 m². O quarto 4 tem 16,33 m² e uma instalação sanitária com 5,56 m². O quarto 5 tem 15,17

m² e uma instalação sanitária com 5,04 m². O quarto 6 tem 25,62 m² e uma instalação sanitária com 4,78 m². O quarto 7 tem 15,90 m² e uma instalação sanitária com 4,90 m². O quarto auxiliar tem 14,96 m². Os quartos 3 e 6 são para duas pessoas, o quarto auxiliar não é usado como dormitório e os restantes são para uma pessoa, conforme a figura 3.6.

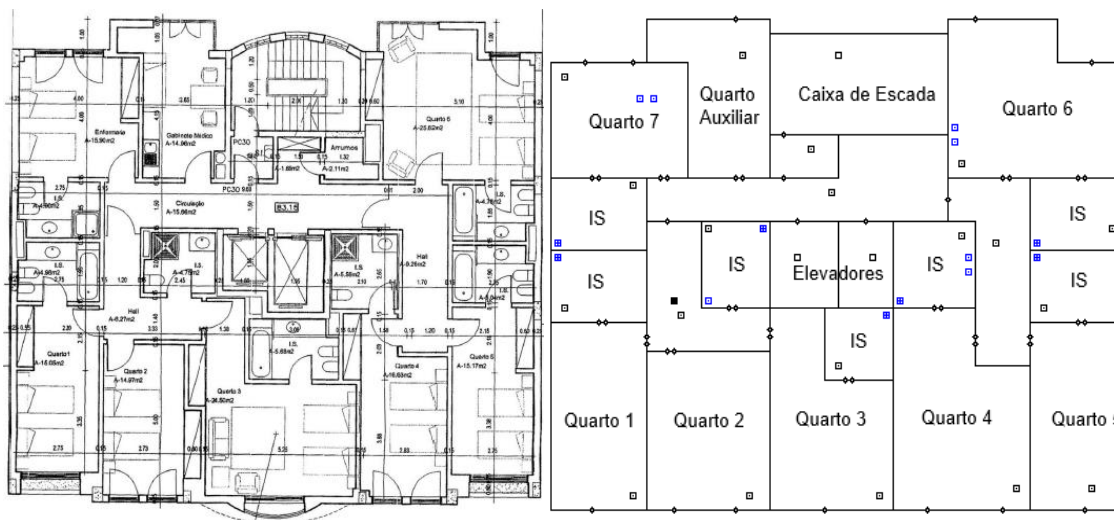


Figura 3.6 - Planta (lado esquerdo) e modelo de simulação (lado direito) dos pisos 2 a 5

Foi definido que a temperatura das simulações é sempre de 20° C, para todos os compartimentos, incluindo as áreas comuns.

3.3. Dados meteorológicos

A partir dos dados meteorológicos da estação que se encontra no Aeroporto Humberto Delgado em Lisboa foram obtidos os valores da temperatura média exterior e a velocidade média do vento para períodos de 1 hora. Uma vez que o edifício não se localiza junto à estação onde foram recolhidos esses dados foi necessário calcular os valores da velocidade do vento para o local em estudo em função das características da envolvente. Em relação à temperatura, admitiu-se ser a mesma em ambos os locais.

Para determinar a velocidade do vento, foram definidos quatro rumos diferentes. Para o 1º quadrante entre 0° e 90°, Norte – Este, o vento primeiro passa na estação meteorológica, local A, depois é afetado pelos edifícios que existem entre a estação e o edifício em estudo, local B, chegando depois a este com uma velocidade de vento diferente daquela registada pelo anemómetro. Posto isto, foi implementada a metodologia que se apresenta de seguida (Ferreira, C; 2013).

Determinar a velocidade de atrito em A através da equação:

$$u_A = \frac{k * U_{ref}}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z0_{ref}}\right)} \quad 3.1$$

Em que:

u_a : velocidade de atrito em A [m/s];

k : constante de Von Kármán ($k = 0,4$) [-];

U_{ref} : velocidade de referência do vento [m/s];

Z_{ref} : Cota onde foi registada a velocidade de referência [m];

$Z0_{ref}$: Altura da rugosidade do local de referência [m].

Na estação meteorológica, local A, a altura de referência é de 10 metros e a rugosidade do local é de 0,05 metros.

De seguida, determina-se a altura equivalente da rugosidade na zona urbana através da equação:

$$Z0_B = 0,5 * h_r * \lambda_f \quad 3.2$$

Sendo:

$Z0_B$: Altura equivalente da rugosidade na zona urbana [m];

h_r : altura média da Camada de Cobertura Urbana [m];

λ_f : razão entre a área média das fachadas e área total em planta [-].

Para o local em estudo h_r são 18 metros e λ_f tem o valor de 0,08.

Posteriormente, calcula-se a espessura da Camada Limite Urbana de B pela equação:

$$\delta_B = Z0_B * \left(0,65 - 0,03 * \ln\left(\frac{Z0_B}{Z0_{ref}}\right)\right) * \left(\frac{x}{Z0_B}\right)^{0,8} \quad 3.3$$

Sendo:

δ_B : espessura da Camada Limite Urbana em B [m];

Z_{0B} : Altura equivalente da rugosidade na zona urbana [m];

Z_{0ref} : Altura da rugosidade do local de referência [m];

x_r : distância, na horizontal, entre o ponto de referência e o local onde se pretende estimar a velocidade do vento [m].

A distância medida na horizontal é de 3800 metros entre o local A e B.

Pela equação 3.4 pode-se determinar a velocidade de atrito em B:

$$u_B = u_A * \left(1 + \frac{\ln\left(\frac{Z_{0B}}{Z_{0ref}}\right)}{\ln\left(\frac{\delta_B}{Z_{0B}}\right)} \right) \quad 3.4$$

Em que:

u_B : velocidade de atrito em B [m/s];

u_a : velocidade de atrito em A [m/s];

Z_{0B} : Altura equivalente da rugosidade na zona urbana [m];

Z_{0ref} : Altura da rugosidade do local de referência [m];

δ_B : espessura da Camada Limite Urbana em B [m].

A equação 3.5 mostra como determinar a altura do deslocamento:

$$d = h_r * \left(1 - \frac{1 - e^{-\sqrt{15 * \lambda_f}}}{\sqrt{15 * \lambda_f}} \right) \quad 3.5$$

Em que:

d : Altura do deslocamento [m];

h_r : altura média da Camada de Cobertura Urbana [m];

λ_f : razão entre a área média das fachadas e área total em planta [-].

Por fim, calcula-se a velocidade em B através da equação:

$$U_B = \frac{u_B}{k} * \ln\left(\frac{Z_{ref} - d}{Z_{0B}}\right). \quad 3.6$$

Sendo:

U_B : velocidade em B [m/s];

u_B : velocidade de atrito em B [m/s];

k: constante de Von Kármán ($k = 0,4$) [-];

Z_{ref} : Cota onde foi registrada a velocidade de referência [m];

d: Altura do deslocamento [m];

Z_{0B} : Altura equivalente da rugosidade na zona urbana [m].

Falta apenas fazer a passagem da velocidade do vento para a altura da cobertura pela equação 3.7, onde α é 0,28 (RSA, 1983):

$$U_B(Z_B) = U_B * \left(\frac{Z_B}{Z_{ref}}\right)^\alpha. \quad 3.7$$

Sendo:

U_B : velocidade em B [m/s];

Z_B : Cota da cobertura do em B [m/s];

Z_{ref} : Cota onde foi registrada a velocidade de referência [m];

α : Constante segundo o Regulamento de Segurança e Ações (RSA, 1983) ($\alpha = 0,28$) [-].

A cota da cobertura é de 18 metros.

Para o 3º quadrante entre 180º e 270º, Sul – Oeste, o vento passa primeiro pelo edifício, local A, depois é afetado pelos edifícios que existem entre edifício em estudo e a estação meteorológica, local B, chegando depois à estação onde é registrada a velocidade do vento. Foi seguida a metodologia anteriormente apresentada. Para o 2º e 4º quadrante entre 90 e 180º, Este – Sul, e 270º e 360º, Oeste – Norte, respectivamente como o vento é paralelo a ambos os locais, apenas é necessário determinar a velocidade do vento à cota da cobertura.

Refere-se que no Anexo I é apresentado um exemplo dos cálculos referidos.

3.4. Coeficientes de pressão

De modo a definir os coeficientes de pressão associados a cada fachada do edifício, recorreu-se ao “Global COE Program” (TPU, 2016), que se trata de um projeto elaborado pela Universidade de Tóquio, que em função do tipo de edifício, do tipo de cobertura, da distribuição dos restantes edifícios circundantes, do coeficiente de densidade e da razão entre altura e largura, permite obter os coeficientes de pressão de cada fachada e para vários rumos de vento diferentes.

3.4.1. Cobertura

Para a cobertura do edifício, foi definido um coeficiente de pressão constante, independente do rumo do vento, de - 0,60.

3.4.2. Fachada Sul

Para a fachada Sul do edifício, foram considerados vários rumos de vento nomeadamente, a Norte (0°), a Nordeste (45°), a Este (90°), a Sudeste (135°) uma redução de 50% até ao piso 2, pois encontra-se abrigado por árvores de algum porte, a Oeste (270°) um incremento de 30% e a Noroeste (315°) um incremento de 20%, estes incrementos devem-se ao facto de o vento ganhar velocidade devido ao estrangulamento do mesmo entre os edifícios E e F que se encontram na envolvente do edifício em estudo.

Na figura 3.7 é apresentada a localização dos vários coeficientes de pressão atribuídos ao longo da fachada Sul.



Figura 3.7 - Localização da coordenadas na fachada Sul

Na tabela 3.1 encontram-se indicados os coeficientes obtidos para a fachada Sul.

Tabela 3.1 - Coeficientes de pressão da fachada Sul

Ref.	Piso	Localização	Direção					
			N	NE	E	SE	W	SW
			0	45	90	135	270	315
S1	0	Porta da Sala de Estar	-0,15	-0,20	-0,35	0,30	-0,065	-0,12
	1	Sala de Refeições						
	2	Quarto 2.1						
	2	Quarto 2.2						
S2	0	Porta de Entrada	-0,15	-0,25	-0,35	0,30	-0,195	-0,18
	1	Sala de Refeições						
	2	Quarto 2.3						
S3	2	Sala de Estar	-0,15	-0,30	-0,35	0,30	-0,325	-0,24
	2	Quarto 2.4						
	2	Quarto 2.5						
S4	3	Quarto 3.1	-0,20	-0,25	-0,35	0,30	-0,065	-0,12
	3	Quarto 3.2						
	4	Quarto 4.1						
	4	Quarto 4.2						
S5	3	Quarto 3.3	-0,20	-0,25	-0,35	0,30	-0,195	-0,18
	4	Quarto 4.3						
S6	3	Quarto 3.4	-0,20	-0,30	-0,35	0,30	-0,325	-0,24
	3	Quarto 3.5						
	4	Quarto 4.4						
	4	Quarto 4.5						
S7	5	Quarto 5.1	-0,20	-0,25	-0,35	0,10	-0,195	-0,12
	5	Quarto 5.2						
S8	5	Quarto 5.3	-0,20	-0,30	-0,35	0,10	-0,195	-0,18
	5	Quarto 5.4						
	5	Quarto 5.5						
S9	0	Loja	-0,10	-0,20	-0,35	-0,20	-0,325	-0,24

Deste modo, depois dos coeficientes de pressão corretamente definidos é possível representar as curvas características para cada zona de fachada em questão. Na figura 3.8 está ilustrada a curva característica do coeficiente de pressão em função do rumo do vento para a zona S1.

Refere-se que no Anexo II constam as curvas características das restantes zonas.

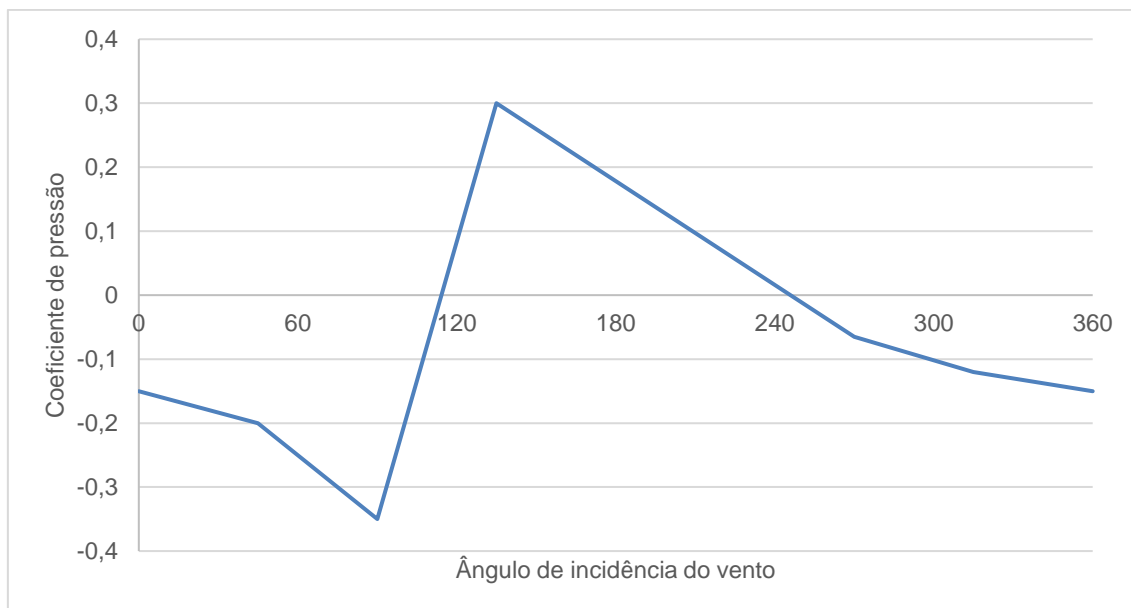


Figura 3.8 - Curva característica da zona S1 da fachada Sul

3.4.3. Fachada Norte

Para a fachada Norte do edifício foram igualmente considerados vários rumos de vento nomeadamente:

- a Norte (0°) foram considerados os mesmos coeficientes de pressão da fachada sul do edifício C, que se encontra defronte ao edifício em estudo, uma vez que o edifício em estudo se encontra na sua esteira, ou seja, o edifício defronte tem uma altura de 30 metros criando uma zona com raio de 300 metros, 10 vezes a altura do edifício em questão (NP1037.1, 2015), na qual, dentro desta os coeficientes de pressão são iguais.
- a Nordeste (45°) foram considerados os mesmos coeficientes do edifício B, adjacente ao edifício em estudo, como se este fosse isolado, pois o edifício em estudo encontra-se na esteira deste.
- Sudeste (135°) e a Sudoeste (225°) um incremento de 20%, pois deve-se ao efeito de ganho de velocidade do vento devido ao estrangulamento entre os edifícios que se encontram na envolvente do edifício em estudo.
- a Noroeste (304°), os valores dos coeficientes de pressão da fachada posterior do edifício D, que se encontra neste rumo, devido ao edifício em estudo se localizar na esteira deste, conforme explicitado no caso anterior.

Na figura 3.9 é apresentado a localização dos vários coeficientes de pressão atribuídos ao longo da fachada Norte.

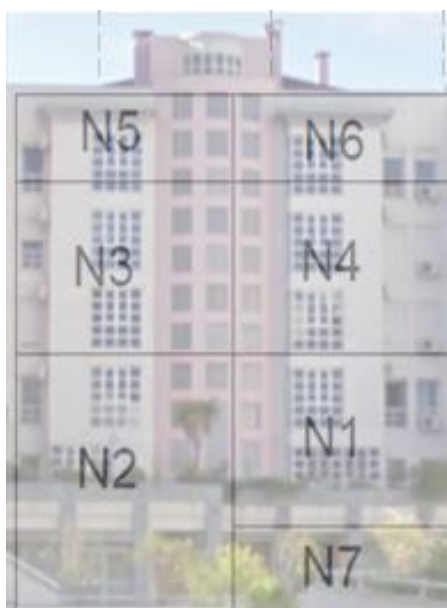


Figura 3.9 - Localização da coordenadas na fachada Norte

Na tabela 3.2 encontram-se indicados os coeficientes obtidos para a fachada Norte.

Tabela 3.2 - Coeficientes de pressão da fachada Norte

Ref.	Piso	Descrição	Direção				
			N	NE	SE	SW	NW
			0	45	135	225	304
N1	1	Sala de Estar	-0,20	-0,20	-0,35	-0,42	-0,20
	2	Quarto 2.6					
N2	0	Porta de entrada	-0,20	-0,20	-0,15	-0,30	-0,15
	1	Cozinha					
	2	Quarto 2.7					
	2	Quarto 2.Aux					
N3	3	Quarto 3.7	-0,20	-0,20	-0,10	-0,30	-0,15
	3	Quarto 3.Aux					
	4	Quarto 4.7					
	4	Quarto 4.Aux					
N4	3	Quarto 3.6	-0,20	-0,20	-0,35	-0,36	-0,20
	4	Quarto 4.6					
N5	5	Quarto 5.7	-0,20	-0,20	-0,10	-0,30	-0,15
	5	Quarto 5.Aux					
N6	5	Quarto 5.6	-0,20	-0,20	-0,30	-0,30	-0,20
N7	0	Loja	-0,10	-0,20	-0,35	-0,42	-0,20

Portanto, após terem sido definidos os coeficientes de pressão para a fachada norte, estes podem ser representados nas curvas características do coeficiente de pressão em função do rumo do vento para cada zona de fachada em questão. Na figura 3.10 está ilustrada a curva característica para a zona N1.

Refere-se que no Anexo III constam as curvas características das restantes zonas.

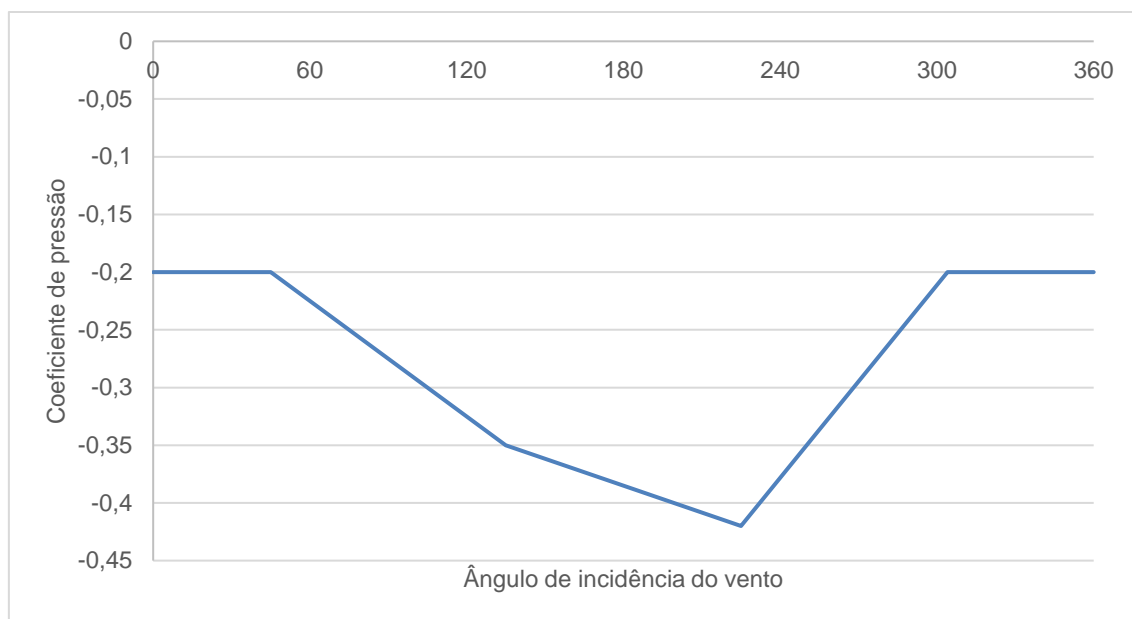


Figura 3.10 - Curva característica da zona N1 da fachada Norte

3.5. Permeabilidade ao ar dos elementos

A permeabilidade ao ar dos vários elementos quer seja na envolvente exterior ou no interior, como por exemplo, caixilharias, janelas, portas exteriores e interiores e outras aberturas pode condicionar a ventilação pois pode permitir a entrada de caudais de ar consideráveis e pode ser causadora de algumas perturbações no esquema de ventilação adotado.

Devido ao avanço tecnológico nesta área, é possível ter cada vez mais elementos com permeabilidade ao ar extremamente baixos, reduzindo os índices de desconforto térmico e acústico no interior dos edifícios. Por outro lado, causam problemas à ventilação natural do edifício pois reduzem a permeabilidade ao ar das envolventes, desde que o edifício não disponha de um sistema de ventilação devidamente dimensionado.

Uma solução utilizada para contornar este problema é a adoção de um sistema de ventilação que inclua a introdução de dispositivos, nas janelas ou em outros elementos construtivos, que permitam a ventilação do compartimento.

3.5.1. Janelas e portas exteriores

Previamente à elaboração deste trabalho, tinham sido realizados ensaios de campo para determinar a permeabilidade ao ar das janelas e portas exteriores.

A equação 3.8 mostra como, em função da diferença de pressões, é possível calcular o caudal que atravessa cada elemento:

$$Q = C * \Delta P^n \quad 3.8$$

Em que:

C: coeficiente de escoamento, varia em função da geometria [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-n}$];

Q: é o caudal de permeabilidade ao ar [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$];

ΔP : diferença de pressão através da abertura [Pa];

n: expoente de escoamento [-].

Na figura 3.11, ilustra-se exemplos de algumas janelas e portas exteriores.



Figura 3.11 - Exemplo de janelas e portas exteriores

Na tabela 3.3 encontram-se os valores obtidos da permeabilidade ao ar das janelas e portas exteriores.

Tabela 3.3 - Permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores

Elemento	Descrição	Dimensões (m)	Piso	Compartimento	Pressão / Depressão	
					Coefficiente (C) (m³/s)	Expoente (n)
1	Porta + Janela	-	0	Loja	0.023375	0.5459
				Sala do Piano	0.022023	0.5739
2	Porta	-	0	Hall	0.014465 0.011012	0.5459 0.5739
3	Porta	-	0	Hall	0.007233 0.005506	0.5459 0.5739
			1	Cozinha		
				Sala de Estar		
				Sala de Refeições		
4	Janela	0,91 x 1,51	1	Sala de Estar	0.000648	0.4907
			2 a 5	Sala de Refeições		
				Quarto 1 e 5		
5	Janela	1,84 x 1,91	1	Sala de Estar	0.001260	0.4907
				Sala de Refeições		
6	Janela	0,97 x 1,37	1	Cozinha	0.000131	0.6684
				Sala de Estar		
7	Janela	0,92 x 1,91	2 a 5	Quarto 2, 4 e 7	0.000758	0.4907
8	Janela	0,94 x 1,91	2 a 5	Quarto 3	0.000758	0.4907
9	Janela	0,92 x 1,92	2 a 5	Quarto 6	0.000761	0.4907
10	Janela	0,97 x 1,37 + 0,40 x 1,37	2 a 5	Quarto Auxiliar	0.000131	0.6684
				Quarto 6		
11	Janela	-	5	Quarto 7	0.006917 0.001160	0.3704 0.7446
12	Porta do Elevador	-	-2 a 5	-	0.002489 0.014165	0.7312 0.6061
13	Porta Corta-fogo	-	-2 a 5	Caixa de Escada e Antecâmaras	0.019649 0.015436	0.5153 0.5577

Existe uma porta automática no piso 0, no hall, mas como esta abre por sensor foi impossível realizar qualquer ensaio. Tendo em conta a sua abertura muito frequente e as grandes folgas que apresenta quando fechada, considerou-se como uma abertura de grandes dimensões.

3.5.2. Portas interiores

Foram realizados vários ensaios de permeabilidade no edifício. As portas interiores (figura 3.12) também foram alvo de ensaio. Estes ensaios são de realização difícil e podem ocorrer erros significativos. Após uma análise crítica dos resultados, chegou-se à conclusão que o valor obtido para as portas interiores estava demasiado elevado, pois tratam-se de portas bastantes recentes e modernas com uma permeabilidade ao ar relativamente baixa, devido às pequenas folgas que apresentam. Posto isso, ficou decidido adotar o valor do coeficiente C 0.00175 m³/s e para o expoente n o valor de 0,50, segundo Viegas, et al. (2014).

Para a completa definição da permeabilidade ao ar das portas interiores falta apenas definir a altura das frinchas, as quais foram igualmente medidas em campo, sendo que variam entre 1 a 5 milímetros. No capítulo 4 é mostrada a influência das frinchas para o aumento/diminuição do caudal que as atravessa.



Figura 3.12 - Exemplo das portas interiores

3.5.3. Conduatas de ventilação

Relativamente às conduatas de ventilação existentes, muita pouca informação havia disponível e não é conhecido o diâmetro das conduatas. Foram realizados ensaios em algumas instalações sanitárias, onde existiam dispositivos mecânicos que forçavam a saída do ar, nomeadamente, o ensaio da permeabilidade ao ar da conduata através do método de pressurização.

Posto isto, foi comparada a curva de desempenho do dispositivo mecânico de ventilação modelo “SDF 100” da Silavent, o qual foi possível identificar graças ao bom registo fotográfico durante a realização dos ensaios de campo, com o valor obtido durante o ensaio de campo, para a instalação sanitária da loja.

A teoria dos escoamentos nas condutas encontra-se devidamente explicitada no Capítulo 21 do “2013 ASHRAE Handbook – Fundamentals” (ASHRAE, 2013). O cálculo para o dimensionamento das condutas é baseado na equação de Bernoulli. Uma conduta apresenta perdas de carga localizadas (entrada e saída) e perda de carga ao longo da conduta.

A perda de carga na conduta, perda por atrito, pode ser calculada pela expressão de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = \frac{f * 1000 * L}{D_h} * \frac{\rho * v^2}{2} \quad 3.9$$

Em que:

ΔP : perda por atrito em termos de pressão total [Pa];

f: fator de atrito [-];

L: comprimento da conduta [m];

D_h : diâmetro hidráulico [mm];

ρ : massa volúmica do ar [kg/m³];

v: velocidade do escoamento [m/s].

O coeficiente de atrito vai variar em função do número de Reynolds. Para escoamentos no regime laminar (números de Reynolds inferiores a 2000), o coeficiente de atrito apenas depende desse número.

Para um escoamento turbulento o coeficiente de atrito vai depender do número de Reynolds, da rugosidade da superfície e de irregularidades internas, tais como as junções.

Entre os regimes laminar e turbulento, existe uma zona de transição onde o coeficiente de atrito depende da rugosidade da superfície e do número de Reynolds. Nesta zona o fator de atrito é calculado pela equação de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 * D_h} + \frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad 3.10$$

Sendo:

f: fator de atrito [-];

D_h: diâmetro hidráulico [mm];

ε: rugosidade absoluta da conduta [mm];

Re: número de Reynolds.

A rugosidade absoluta considerada nas condutas foi de 0,0015 mm.

O número de Reynolds é calculado usando a equação:

$$Re = \frac{D_h * v}{1000 * \nu} \quad 3.11$$

Sendo:

D_h: diâmetro hidráulico [mm];

v: velocidade do escoamento [m/s];

μ: viscosidade cinemática [m²/s].

As perdas de carga localizadas foram calculadas através da equação:

$$\Delta P = C * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad 3.12$$

Em que:

ΔP: perda por atrito em termos de pressão total [Pa];

C: coeficiente de perda localizada [-];

ρ: massa volúmica do ar [kg/m³];

v: velocidade do escoamento [m/s].

Sendo assim, a perda de carga em toda a conduta, é uma expressão combinada da expressão de cálculo da perda de carga contínua com a perda de carga localizada, equação de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = \left(\frac{f * 1000 * L}{D_h} + \sum C \right) * \frac{1}{2} * \rho * \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad 3.13$$

Do resultado do ensaio de campo, obteve-se um coeficiente de escoamento de 12,752 e expoente de escoamento de 0,579 que traduzem a curva segundo a equação:

$$Q = 12,752 * \Delta P^{0,579} \quad 3.14$$

Além disso, sabe-se que o caudal medido nesse instante foi de 55 m³/h, segundo ensaio de campo realizado com funil AM600 e anemómetro de fio quente AIRFLOW TA 5.

Deste modo, é possível determinar a diferença de pressão para o caudal em causa, de 12,5 Pa.

De seguida, foram realizadas várias iterações até se encontrar o diâmetro para qual a perda de carga fosse semelhante à obtida pelo ensaio em campo, anteriormente referido. Posto isso, foi assumido que as condutas de ventilação seriam lisas e com 150 mm de diâmetro. Foram realizados os cálculos para determinar a perda de carga nestas condições.

Através da leitura do gráfico de desempenho do ventilador mecânico obtém-se a diferença de pressão de 9,5 Pa para o caudal medido de 55 m³/h, conforme a figura 3.13.

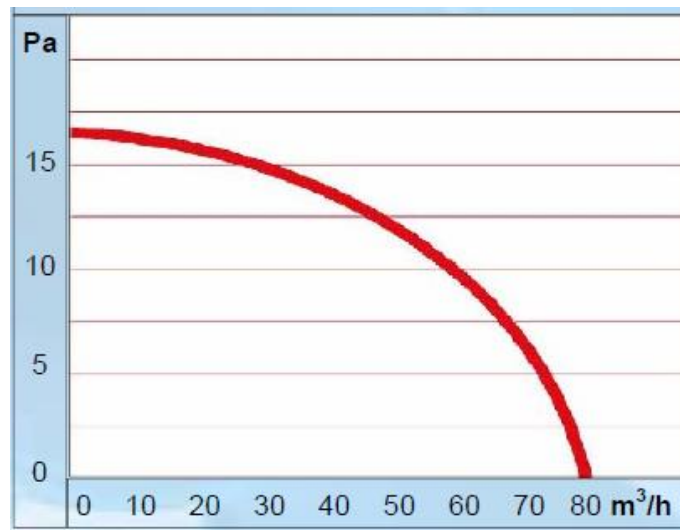


Figura 3.13 - Curva de desempenho do ventilador mecânico

Pela equação 3.11, determinou-se o número de Reynolds de 8579 para o valor assumido de diâmetro e para a velocidade corresponde ao caudal medido.

$$Re = \frac{150 * 0,865}{1000 * 1,82 * 10^{-5}} = 8579 \quad 3.15$$

Pela equação 3.10 e através de um processo iterativo foi encontrado o valor para o fator f de 0,0322.

Pela equação 3.9, determinou-se a perda de carga de 1,45 Pa ao longo da conduta.

$$\Delta P = \frac{0,0322 * 1000 * 15}{150} * \frac{1,204 * 0,865^2}{2} = 1,45 Pa \quad 3.16$$

Resta apenas calcular as perdas de carga localizadas, nomeadamente à entrada e à saída, pela equação 3.12.

À entrada obteve-se uma perda de carga localizada de 1,26 Pa, em que foi definido um coeficiente de perda de 2,8, pois existe aproximadamente 50% da área de entrada obstruída pelas pás do ventilador (AFDH, 1984).

$$\Delta P = 2,8 * \frac{1}{2} * 1,204 * 0,865^2 = 1,26 Pa \quad 3.17$$

À saída o valor para a perda de carga localizada é de 0,45 Pa, na qual foi definido que se tratava de uma abertura livre, portanto com coeficiente de perda de 1.

$$\Delta P = 1 * \frac{1}{2} * 1,204 * 0,865^2 = 0,45 Pa \quad 3.18$$

Basta apenas somar as perdas devido ao ventilador mecânico, na conduta e à entrada e saída desta, perfazendo uma perda total de 12,7 Pa.

Comparando este valor com o obtido pelo ensaio em campo, é plausível afirmar que as condutas têm um diâmetro de 150 mm.

3.5.4. Outros parâmetros

Relativamente a outros elementos constituintes do edifício foram consideradas as aberturas existentes nos pisos -1, -2 e 5 e as grelhas presentes neste último.

A equação 3.19 traduz a expressão que rege o cálculo na determinação do caudal que atravessa estas aberturas:

$$Q = C_d * A * \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{\rho}}$$
3.19

Em que:

Q: caudal volúmico [m³/s];

C_d: coeficiente de vazão [-];

A: área do orifício [m²];

ΔP: perda por atrito em termos de pressão total [Pa];

ρ: massa volúmica do ar [kg/m³].

Para todas as aberturas foi considerado um coeficiente de vazão de 0,60.

Na tabela 3.4 é apresentado a área dessas aberturas.

Tabela 3.4 - Permeabilidade ao ar das aberturas

Elemento	Descrição	Piso	Compartimento	Área (m²)
1	Abertura	-2	Garagem	0.60
2	Abertura	-1	Garagem	1.3475
3	Grelhas	5	Caixa de Escada	0,005
4	Porta Automática	0	Hall	0.0491

Na figura 3.14 encontram-se alguns exemplos das aberturas anteriormente referidas.



Figura 3.14 - Exemplo de aberturas

Lembra-se ao leitor, que a porta automática foi considerada como uma abertura pois não foi possível medir a sua permeabilidade ao ar. Foi também considerada a existência de uma hote de cozinha (figura 3.15), com um caudal de exaustão de 1,28 m³/s, apenas funcionando em períodos de refeição e a existência de três aparelhos de produção de água quente (figura 3,15), a funcionar todo o dia, com um caudal total de exaustão de 226 kg/h, localizados no piso 6.



Figura 3.15 - Exemplo da hote de cozinha e esquentadores

3.6. Características do sistema de ventilação adotado

3.6.1. Descrição geral do sistema

Atualmente no edifício em estudo a ventilação ocorre de forma natural, em que a admissão de ar é feita através dos compartimentos principais, quartos e salas, pela caixilharia existente na envolvente do edifício. Relativamente à exaustão do ar, este é evacuado pelas condutas existentes nas muitas instalações sanitárias. A passagem do ar é feita através das portas interiores, pela caixa de escada e pelo poço dos elevadores. Este modo de ventilação não corresponde a uma estratégia previamente concebida e implementada em obra, mas antes a um conjunto de soluções parcelares adotadas sem projeto. Assim, não se trata verdadeiramente de um sistema de ventilação.

Este modo de ventilação está inteiramente dependente das condições atmosféricas que quase sempre são difíceis de prever. Portanto, é natural que ocorram grandes variações nos caudais de ventilação no interior do edifício, originando períodos em que este é muito reduzido, estando associado a problemas de salubridade no interior do edifício, e outras ocasiões em que é muito elevado, afetando o conforto dos utentes. Ainda outro problema é o facto de poder ocorrer o refluxo dos caudais de ar, que escoam no sentido contrário ao projetado, acontecendo a propagação de odores e de outros poluentes gerados nas áreas de serviço para os compartimentos principais.

3.6.2. Aberturas de admissão de ar

Neste edifício irá ser considerada a criação de três tipos de aberturas de admissão de ar, nomeadamente abertura não regulável, autorregulável e por conduta.

As aberturas não reguláveis são dispositivos que permitem a comunicação direta do exterior com o interior do edifício.

Segundo a NP1037-1:2015, apenas se deve usar aberturas não reguláveis quando a classe de exposição ao vento é EXP1.

Este tipo de aberturas deve assegurar caudais iguais ou superiores aos que foram projetados para os compartimentos principais, para uma diferença de pressão exterior/interior de 2 Pa.

O caudal volúmico pode ser calculado através na expressão 3.19, anteriormente apresentada. Foi igualmente considerado um coeficiente de vazão de 0,60.

As aberturas autorreguláveis têm a particularidade de limitar os caudais de ar em ambas as direções através de um escoamento limitado que se dá devido a diferenças de pressão previamente definidas com os requisitos para os caudais recomendados para o compartimento em questão.

O caudal volúmico pode ser calculado com base na equação:

$$Q = f * Q0 * \left(1 - e^{\left(\frac{\Delta P}{f * \Delta P0} \right)} \right) \quad 3.20$$

Sendo:

Q: caudal volúmico [m³/h];

f: fração de fluxo inverso – a fração da máxima taxa de fluxo de ar para o qual o fluxo que passa o elemento é limitado quando a diferença de pressão é negativa [-];

Q0: caudal de referência - valor empírico que define o caudal máximo de ar que escoar através do dispositivo [m³/h];

$\Delta P0$: pressão de referência – que define a diferença de pressão acima da qual o fluxo de ar será limitado ao máximo caudal [Pa].

A pressão de referência adotada foi de 0,8 Pa, a que corresponde uma diferença de pressão de 2 Pa acima da qual o fluxo de ar será limitado ao máximo caudal, e a fração de fluxo inverso

adotada foi de 2 (Viegas, et al., 2014).

A admissão de ar por condutas é uma solução utilizada para permitir o escoamento do ar entre o exterior e o interior. As perdas de carga deste tipo de aberturas, para os caudais correspondentes, devem ser da ordem de 3 Pa.

Este tipo de aberturas tem o objetivo de efetuar as trocas de ar através de duas fachadas opostas.

A perda de carga na conduta, perda por atrito, pode ser calculada pelas equações 3.9 a 3.13, as quais já foram enunciadas nesta dissertação.

3.6.3. Passagens de ar interiores

As passagens de ar interior têm a função de permitir a circulação do ar sem perdas de carga significativas mesmo quando as portas de comunicação estão fechadas. Posto isto, é imprescindível a existência de aberturas permanentes entre compartimentos principais e circulações com dimensões que não constituam restrições à ventilação.

No presente trabalho, além das folgas presentes na base das portas interiores, foram também dimensionadas grelhas de ventilação a instalar nas portas interiores, segundo as regras encontradas na NP1037-1:2015.

3.6.4. Aberturas de exaustão de ar

As aberturas de exaustão de ar devem permitir a exaustão do ar viciado da habitação, e ao mesmo tempo, a exaustão dos fumos provenientes da preparação de produtos alimentícios, tirando assim proveito do efeito de chaminé gerado pelos gases aquecidos na zona do fogão, quando é adotada ventilação natural.

Neste trabalho, apenas existe uma cozinha, que é dotada de um hote com ventilador mecânico que procede à exaustão do ar para o exterior através de uma conduta localizada na fachada.

Existe também, no ultimo piso, um compartimento para os equipamentos de produção de água quente sanitária, a qual é dotada de uma conduta vertical.

As instalações sanitárias são equipadas com aberturas de exaustão de ar, sendo estas localizadas, sempre que possível, a pelo menos a 2,10 m acima do pavimento e tão distantes quanto possível da porta de acesso a estes compartimentos. Este posicionamento permite o varrimento de todo o compartimento pelo escoamento do ar.

3.7. Ferramenta de cálculo

O software utilizado foi o “CONTAM” que é um programa desenvolvido pelo NIST (U.S. National Institute of Standards and Technology), é de uso livre e fácil de utilizar, (NIST, 2014). Esta ferramenta permite a simulação multicompartimento do desempenho em edifícios da qualidade do ar interior, da ventilação de espaços interiores e da exposição dos ocupantes aos contaminantes existentes no ar.

O programa “CONTAM” tem a funcionalidade de simular usando um regime permanente ou um regime transiente. No caso de regime transiente podem impor-se condições ambientais exteriores constantes ou variáveis (impostas pelo utilizador ou recorrendo a uma base de dados climática do local).

3.8. Metodologia de simulação

No princípio do estudo da ventilação deste edifício, foram simuladas as condições iniciais, realizando diversos aperfeiçoamentos no modelo até obter valores semelhantes aos obtidos pelos ensaios realizados em campo, nomeadamente os ensaios com os PFT's. Este modelo foi chamado de modelo Base, ou seja, compartimentos com todas as portas fechadas.

Após, o modelo Base corretamente definido, seguiu-se a primeira fase das simulações, que teve por finalidade averiguar a sensibilidade do modelo, sendo os quatro casos estudados:

- Porta das instalações sanitárias fechadas (modelo Base);
- Porta das instalações sanitárias abertas;
- Portas com frinchas de 1 mm de espessura;
- Portas com frinchas de 5 mm de espessura.

A segunda fase das simulações consistiu em aplicar um sistema de ventilação de acordo com a NP1037-1:2015, no que diz respeito ao dimensionamento das aberturas de admissão de ar, de passagem de ar interior e de exaustão de ar. Nesta fase foram considerados dois casos de estudo:

- Aberturas de admissão de ar não reguláveis;
- Aberturas de admissão de ar autorreguláveis.

A terceira fase consistiu em aplicar um sistema de ventilação de acordo com a NP1037-2:2009, no que respeita ao dimensionamento dos caudais de ar em função do número de

ocupantes. Nesta fase, foram igualmente estudados dois casos distintos:

- Aberturas de admissão de ar não reguláveis;
- Aberturas de admissão de ar autorreguláveis.

A quarta fase deste trabalho consistiu em utilizar a simulação da fase dois com aberturas de admissão de ar autorreguláveis e no compartimento em que não existe instalação sanitária privativa a introdução de uma conduta que permitirá a ventilação cruzada, isto é, através da fachada oposta.

Finalmente na última fase das simulações pretende-se, utilizando a simulação da fase dois com aberturas de admissão de ar autorreguláveis, incrementar em 30% os caudais de admissão e exaustão. Paralelamente, foi realizada uma simulação com o objetivo de averiguar quanto seria necessário incrementar de modo a obter uma renovação por hora.

Na figura 3.16 encontra-se um esquema das simulações realizadas.

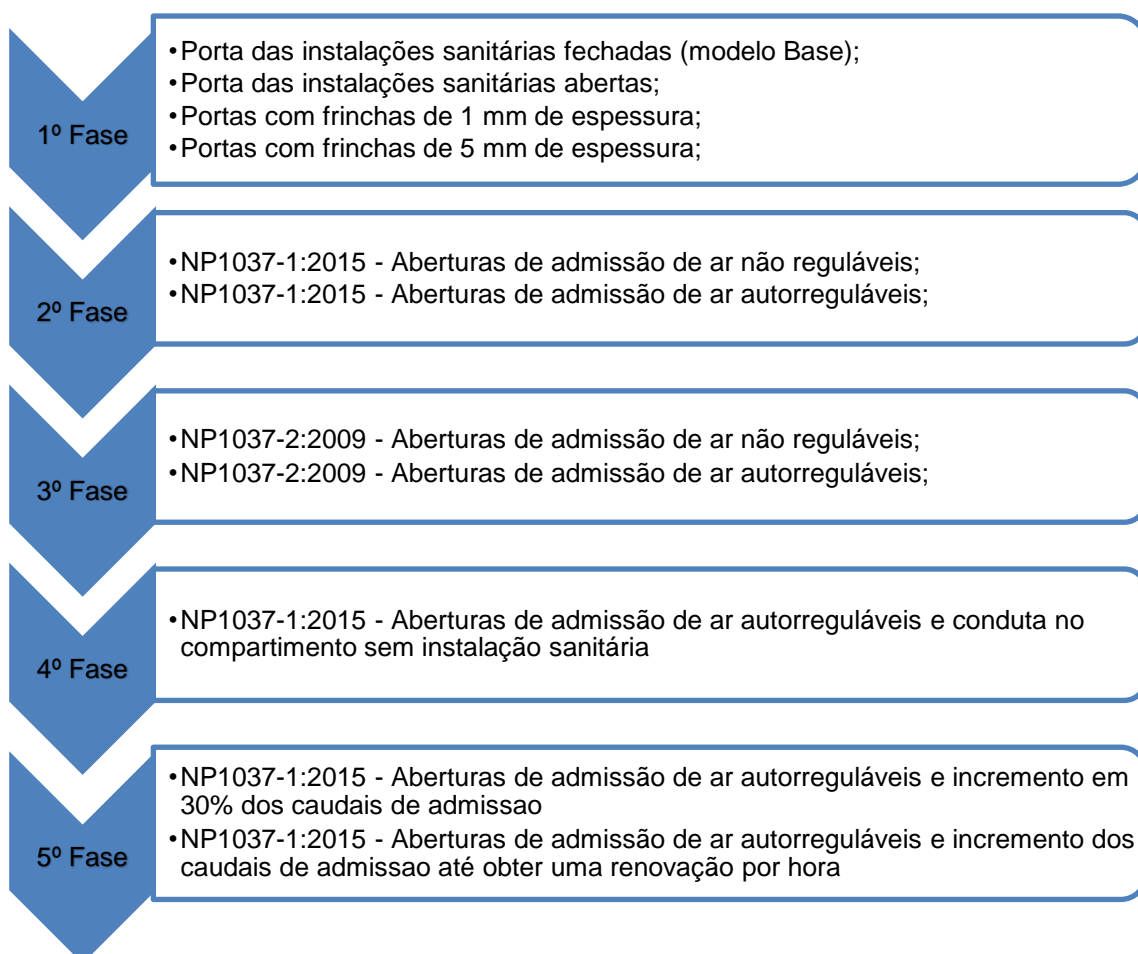


Figura 3.16 - Esquema de simulações realizadas

Em todas as fases, foram realizadas comparações entre os caudais efetivos e os caudais de projeto. Foram escolhidos 6 compartimentos representativos de todo o edifício com o objetivo de estudar a percentagem de inversão do fluxo de ar, do comportamento do número de renovações por hora ao longo do ano, e a possibilidade de ocorrer potencial desconforto térmico, sendo que este foi avaliado através da percentagem de tempo em que caudal de ventilação efetivo é superior ao caudal de ventilação de projeto.

3.9. Requisitos de ar a assegurar

De forma a definir os caudais de ventilação recomendados para cada compartimento interior foram seguidas a NP1037-1:2015 e a NP1037-2:2009. Com base na área de pavimento de cada compartimento e no número máximo de ocupantes obtiveram-se assim os caudais de ar novo a garantir.

3.9.1. NP1037-1:2015

Segundo a NP1037-1:2015, o caudal de ar novo mínimo é determinado tendo em atenção o volume dos compartimentos a ventilar e os respetivos requisitos mínimos de renovação de ar, definidos da seguinte forma:

- a) uma renovação por hora nos compartimentos principais;
- b) quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço.

As portas interiores, sempre que limitem sectores separados de ventilação, devem ter permeabilidade não superior a $3,3 \text{ l/(s.m}^2\text{)}$ [$12 \text{ m}^3\text{/(h.m}^2\text{)}$] para uma diferença de pressão de 100 Pa.

As aberturas de admissão de ar em paredes de fachada devem ter uma área útil recomendada, segundo a tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Áreas úteis recomendadas para aberturas em paredes de fachadas

Área útil	Caudal-tipo
35 cm ²	8 l/s (30 m ³ /h)
52 cm ²	13 l/s (45 m ³ /h)
70 cm ²	17 l/s (60 m ³ /h)

A equação 3.21 permite para qualquer caudal determinar a área útil para uma abertura não regulável, sendo que esta pode ser deduzida a partir da equação 3.19, com um coeficiente de vazão de 0,61. Na figura 3.17 encontra-se representada o gráfico da área útil em função do caudal de admissão.

$$A = \frac{C_d * \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{\rho}}}{Q} \quad 3.21$$

Em que:

A: área do orifício [m²];

Q: caudal volúmico [m³/s];

C_d: coeficiente de vazão (C_d = 0,61) [-];

ΔP: perda por atrito em termos de pressão total (ΔP = 10) [Pa];

ρ: massa volúmica do ar (ρ = 1,2) [kg/m³].

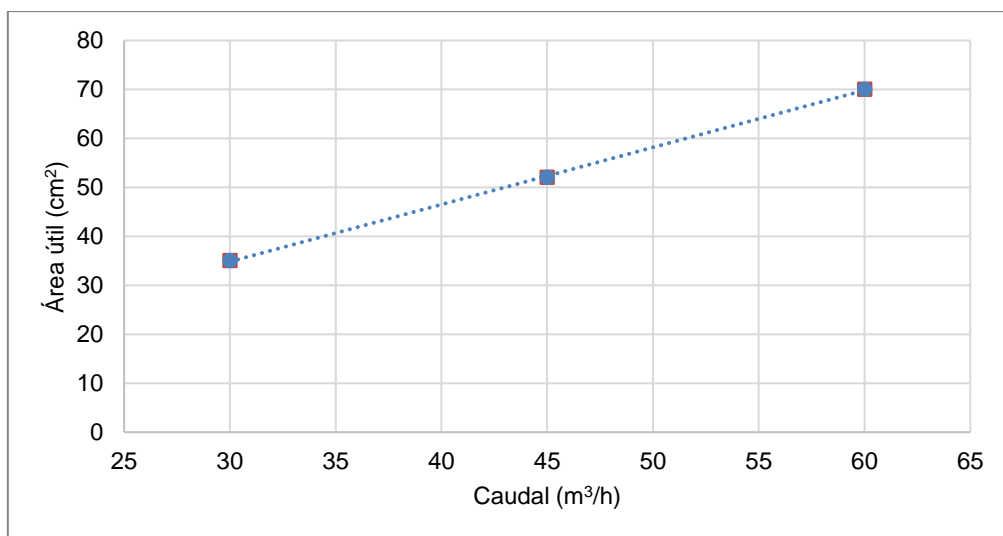


Figura 3.17 - Gráfico das áreas úteis recomendadas para aberturas em paredes de fachadas

As aberturas de passagem do ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço devem ter área útil da ordem de grandeza indicada na tabela 3.6. As perdas de carga nestas aberturas, para os caudais de ar novo em correspondência, devem ser da ordem de 1 Pa, para caudais até 60 m³/h. Para caudais superiores não deve ser excedida a perda de carga de 3 Pa.

Tabela 3.6 - Áreas úteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço

Área útil	Caudal-tipo
100 cm²	até 8 l/s (30 m³/h)
200 cm²	de 8 l/s (45 m³/h) até 25 l/s (90 m³/h)
250 cm²	de 25 l/s (90 m³/h) até 33 l/s (120 m³/h)

Novamente a partir da equação 3.19 é possível deduzir a equação 3.22 que permite determinar a área útil das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço para qualquer caudal. Na figura 3.18 mostra-se o gráfico da equação anteriormente referida.

$$A = \frac{C_d * \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{\rho}}}{Q} \quad 3.22$$

Em que:

A: área do orifício [m²];

Q: caudal volúmico [m³/s];

C_d: coeficiente de vazão (C_d = 0,61) [-];

ΔP: perda por atrito em termos de pressão total (ΔP = 1 ou 3) [Pa];

ρ: massa volúmica do ar (ρ = 1,2) [kg/m³].

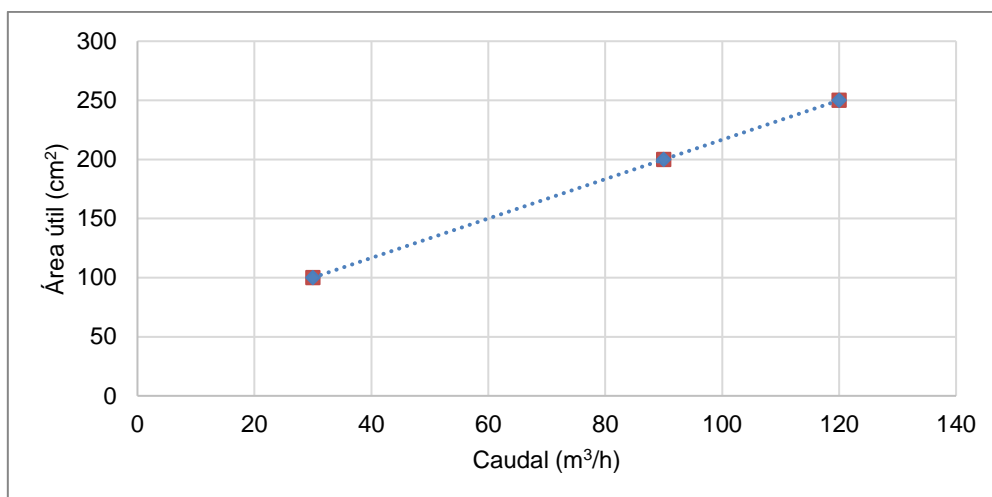


Figura 3.18 - Gráfico das áreas úteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço

As condutas individuais devem ter secção uniforme a toda a altura. Quando se tratar de condutas lisas de secção circular, a área da secção não deve ser inferior ao valor que, apresentado na tabela 3.7, corresponde ao valor do caudal-tipo escoado pela conduta em causa. As perdas de carga nestas aberturas, para os caudais correspondentes, devem ser da ordem de 3 Pa.

Tabela 3.7 - Valores mínimos recomendados para áreas das secções das condutas lutas individuais lisas

Caudal-tipo	Área de secção
8 l/s (30 m³/h)	80 cm²
13 l/s (45 m³/h)	100 cm²
17 l/s (60 m³/h)	120 cm²
25 l/s (90 m³/h)	160 cm²
33 l/s (120 m³/h)	200 cm²

A equação 3.23 foi deduzida a partir da equação 3.9, mostrando que, para qualquer caudal, a área das secções das condutas individuais lisas. Na figura 3.19 representa a relação entre a área de secção das condutas com o caudal.

$$A = \left(\frac{f * \rho * Q^2 * \sqrt{\Pi}}{4 * \Delta P} \right)^{\frac{1}{2,5}} \quad 3.23$$

Sendo:

A: Área de Secção [m²];

f: fator de atrito (f = 0,03) [-];

ρ : massa volúmica do ar ($\rho = 1,2$) [kg/m³];

Q: caudal volúmico [m³/s];

ΔP : perda por atrito em termos de pressão total por metro ($\Delta P = 0,3$) [Pa/m].

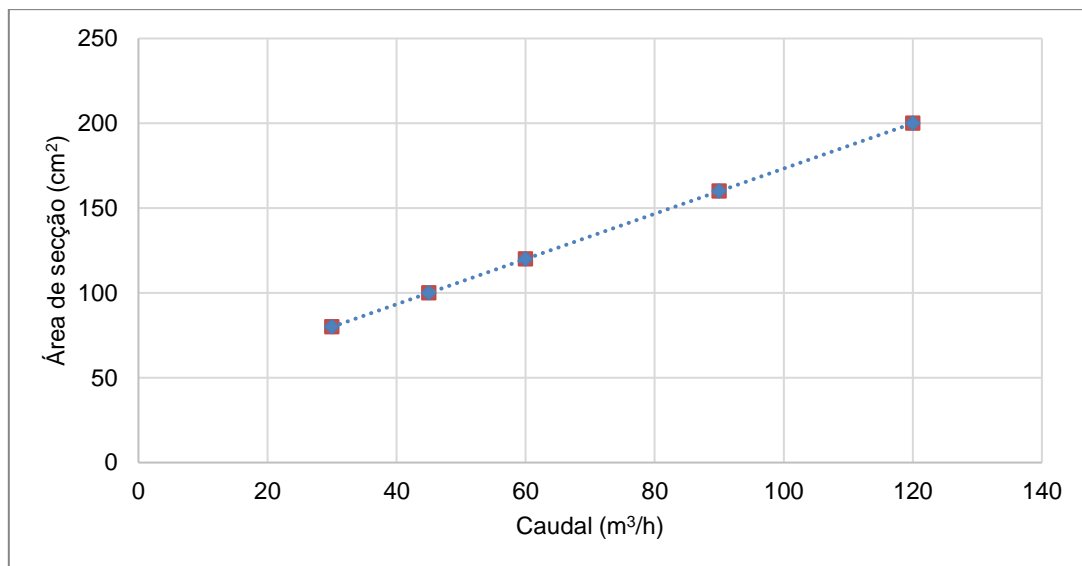


Figura 3.19 – Gráfico das áreas das secções das condutas individuais lisas.

Na tabela 3.8 encontra-se os caudais, áreas de abertura em paredes de fachada, de passagem de ar interior e condutas de exaustão de ar dimensionadas para os compartimentos em estudo, segundo a NP1037-1:2015.

As salas do Piano, de Estar e de Refeições apenas têm admissão de ar, sendo que a exaustão deste acontece naturalmente por todo o edifício, nas simulações realizadas.

Tabela 3.8 - Caudais dimensionados segundo a NP1037-1:2015

Compartimento	Volume (m ³)	Caudal mínimo (m ³ /h)	Caudal (m ³ /h)	Área de abertura (cm ²)	Área de passagem (cm ²)	Área de conduta (cm ²)	Diâmetro de conduta (mm)
Quarto 1	40,64	40,64	53,78	62,58	139,64	111,71	119,26
I.S. 1	13,45	53,78					
Quarto 2	40,42	40,42	80,81	46,99	117,37	147,75	137,16
Quarto Aux	40,39	40,39		46,96	117,32		
I.S.2	12,83	51,30		-	184,69		
Quarto 3	66,15	66,15	66,15	77,01	160,25	128,20	127,76
I.S.3	15,34	61,34					
Quarto 4	44,09	44,09	60,05	69,89	150,08	120,06	123,64
I.S. 4	15,01	60,05					
Quarto 5	40,96	40,96	54,43	63,34	140,72	112,57	119,72
I.S. 5	13,61	54,43					
Quarto 6	69,17	69,17	69,17	80,54	165,29	132,23	129,75
I.S. 4	12,91	51,62					
Quarto 7	42,93	42,93	52,92	61,58	138,20	110,56	118,65
I.S. 7	13,23	52,92					
Sala do Piano	92,66	92,66	92,66	107,94	-	-	-
Sala de Estar	258,80	258,80	258,80	301,77	-	-	-
Sala de Refeições	180,36	180,36	180,36	210,26	-	-	-

Relembra-se ao leitor que os pisos 2 a 5 são iguais, conforme a figura 3.20.

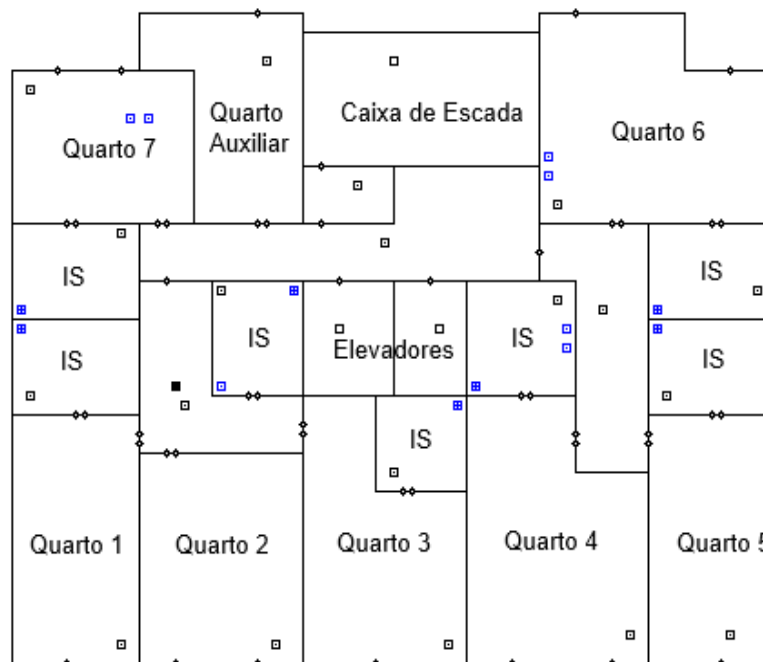


Figura 3.20 – Modelo de simulação dos pisos 2 a 5

3.9.2. NP1037-2:2009

Segundo a NP1037-2:2015, o caudal de ar novo mínimo é determinado tendo em atenção o volume dos compartimentos e/ou o número de ocupantes.

Neste trabalho foram considerados materiais classificados com baixa emissão de poluentes, os quais satisfazem os limites máximo de emissão, para o nível “low polluting”, especificados no Anexo C da norma (EN 15251:2007).

Para os compartimentos principais, tendo em conta que apenas se pretende o caudal em função do número de ocupantes, foi utilizada a equação:

$$Q = 3,6 * 5 * n_{ocup} \quad 3.24$$

Sendo:

Q: caudal volúmico [m³/h];

n_{ocup}: número de ocupantes [-].

Relativamente aos compartimentos de serviço, nomeadamente as instalações sanitárias, os caudais foram calculados pela equação:

$$Q = 3,6 * 8,3 \quad 3.25$$

Em que:

Q: caudal volúmico [m³/h].

É de salientar que o caudal necessário é independente da ocupação no que diz respeito a este tipo de compartimentos.

Na tabela 3.9 encontram-se os caudais, áreas de abertura em paredes de fachada, de passagem de ar interior e de condutas de exaustão de ar dimensionadas para os compartimentos em estudo, segundo a NP1037-2:2009, em função do número de ocupantes.

Mais uma vez e conforme estabelecido anteriormente, as salas do Piano, de Estar e de Refeições apenas têm admissão de ar, pelo que a exaustão ocorre naturalmente por todo o edifício.

Tabela 3.9 - Caudais dimensionados segundo a NP1037-2:2009 (em função da ocupação)

Compartimento	Nº de ocupantes	Caudal mínimo (m³/h)	Caudal (m³/h)	Área de abertura (cm²)	Área de passagem (cm²)	Área de conduta (cm²)	Diâmetro de conduta (mm)
Quarto 1	1	18,00	29,88	34,69	99,80	79,84	100,82
I.S. 1	-	29,88					
Quarto 2	1	18,00	36,00	20,83	80,00	88,00	105,85
Quarto Aux	1	18,00		20,83	80,00		
I.S.2	-	29,88		-	110,00		
Quarto 3	2	36,00	36,00	41,83	110,00	88,00	105,85
I.S.3	-	29,88					
Quarto 4	1	18,00	29,88	34,69	99,80	79,84	100,82
I.S. 4	-	29,88					
Quarto 5	1	18,00	29,88	34,69	99,80	79,84	100,82
I.S. 5	-	29,88					
Quarto 6	2	36,00	36,00	41,83	110,00	88,00	105,85
I.S. 4	-	29,88					
Quarto 7	1	18,00	29,88	34,69	99,80	79,84	100,82
I.S. 7	-	29,88					
Sala do Piano	5	90,00	90,00	107,94	-	-	-
Sala de Estar	14	252,00	252,00	301,77	-	-	-
Sala de Refeições	10	180,00	180,00	210,26	-	-	-

4. Resultados

4.1. Considerações iniciais

O objetivo principal deste trabalho é simular o sistema de ventilação atualmente existente num edifício, que tem como utilização primária lar de idosos. Um segundo objetivo consiste em estudar a implementação de estratégias de ventilação natural que possam melhorar as taxas de renovação de ar dos compartimentos principais.

Além disso, a metodologia de cálculo apresentada no capítulo anterior permite tirar um conjunto de observações relevantes para o estudo da ventilação de edifícios e realizar uma análise de sensibilidade de parâmetros com influência direta na qualidade do ar interior. Assim, após a validação do modelo construído, com base nas condições existentes, foi possível estudar:

- O impacto da posição das portas das instalações sanitárias (abertos ou fechadas) na evolução do sistema de ventilação existente;
- O impacto da espessura das frinchas (mínimo 1 mm e máximo 5 mm) na evolução do sistema de ventilação existente;
- A influência de aplicar a NP1037-1:2015 ao edifício e analisar as melhorias face ao sistema de ventilação atual, comparando o uso de aberturas não reguláveis com as aberturas autorreguláveis;
- A influência de aplicar a NP1037-2:2009 ao edifício, comparando a utilização de aberturas não reguláveis e aberturas autorreguláveis, e analisar as melhorias em relação ao sistema de ventilação existente;
- A influência de aplicar a NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis e avaliar o uso de condutas de ventilação nos compartimentos sem instalação sanitária;
- A percentagem de tempo em que acontece inversão do fluxo de ar nos compartimentos em pisos diferentes;
- O comportamento do número de renovações por hora ao longo do ano em diversos compartimentos de pisos distintos;
- A probabilidade de ocorrência de potencial desconforto, em pisos diferentes e em vários compartimentos.

4.2. Relação entre os caudais

Com o objetivo de ter um critério de comparação entre os valores obtidos ao longo de cada caso de estudo, foi necessário estabelecer um critério adimensional entre o caudal de ventilação efetivo de cada compartimento e o caudal de projeto determinado quer pela NP1037-1:2015 e NP1037-2:2009, conforme equação:

$$\text{Relação entre caudais} = \frac{\text{Caudal Efetivo}}{\text{Caudal de Projeto}} \quad 4.1$$

Esta relação permite definir se estamos numa situação de défice de ventilação (relação de caudais menor que 1), excesso de ventilação (relação de caudais maior que 1) ou situação ideal de ventilação (relação de caudais perto de 1).

4.3. Resultados das simulações

4.3.1. Modelo Base

O modelo Base representa as condições existentes no edifício em estudo, ou seja, compartimentos com todas as portas fechadas. Foram realizados vários aperfeiçoamentos no modelo de simulação até se obter valores semelhantes aos obtidos pelos valores experimentais, realizados através de ensaios de campo, nomeadamente, os ensaios com os PFT's, do gás traçador e com o método de decaimento, com o objetivo de determinar a taxa de ventilação de alguns dos compartimentos.

Recorrendo ao programa de simulação "CONTAM" obteve-se os caudais efetivos dos compartimentos principais do edifício em estudo. Na tabela 4.1 apresenta-se os resultados obtidos da taxa de ventilação de ar para o período, de 14 a 27 de Fevereiro de 2014, em que foram realizados os ensaios com os PFT's. Salienta-se que em todos os cálculos da determinação da taxa de ventilação de ar, se recorreu aos volumes dos compartimentos utilizados nos ensaios com os PFT's, de modo, a ter um melhor grau de comparação.

Foram comparados os valores obtidos pelo modelo numérico com os valores do ensaio experimental. Foi possível concluir que o modelo numérico se encontra razoavelmente próximo das condições existentes. Outra conclusão que suporta a afirmação anterior é o facto de em 1/3 dos resultados obtidos pelo modelo numérico se obtiveram taxas de ventilação superiores a 50% do valor obtido pelo PFT's, mas por se tratar de taxas de ventilação extremamente baixas (0,19 em média) é plausível considerar-se que são valores aceitáveis (média de 0,26 pelo modelo Base).

Tabela 4.1 - Comparação da taxa de ventilação entre os PFT's e o modelo Base

Compartimento	Volume	Taxa de ventilação PFT's Experimental	Caudal (m³/h)	Taxa de ventilação Numérico	Variação da taxa PFT's (%)
Q2.1	41,18	-	14,05	0,34	-
Q2.2	40,96	0,24	9,95	0,24	2,42
Q2.3	64,71	0,22	14,45	0,22	3,76
Q2.4	45,63	0,29	13,97	0,31	6,27
Q2.5	41,60	0,30	13,94	0,34	11,25
Q2.6	68,34	0,23	16,00	0,23	2,37
Q2.7	42,93	-	18,12	0,42	-
Q3.1	41,65	0,24	11,87	0,28	18,65
Q3.2	41,08	0,17	8,25	0,20	18,68
Q3.3	64,97	0,21	14,30	0,22	3,51
Q3.4	44,90	0,21	13,72	0,31	43,64
Q3.5	41,42	0,19	11,78	0,28	50,54
Q3.6	68,58	0,15	12,41	0,18	18,71
Q3.7	44,36	0,24	13,65	0,31	26,06
Q4.1	41,11	0,12	11,44	0,28	139,03
Q4.2	40,65	0,13	6,54	0,16	23,96
Q4.3	65,85	0,10	11,64	0,18	77,64
Q4.4	45,92	0,15	12,86	0,28	89,02
Q4.5	41,24	0,15	11,34	0,27	83,03
Q4.6	68,35	0,09	11,87	0,17	95,45
Q4.7	43,97	0,12	12,95	0,29	150,07
Q5.1	41,23	0,19	10,92	0,26	42,72
Q5.2	40,04	0,15	3,91	0,10	-35,69
Q5.3	54,67	0,16	11,06	0,20	28,70
Q5.4	44,66	0,17	12,04	0,27	62,05
Q5.5	41,49	0,19	10,88	0,26	37,15
Q5.6	67,38	0,18	11,99	0,18	-2,61
Q5.7	42,99	0,21	16,94	0,39	90,58
Sala do Piano	96,29	0,22	32,54	0,34	51,08
Média	-	0,19	-	0,26	40,13

Na figura 4.1 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos da taxa de ventilação pelo ensaio experimental e modelo numérico.

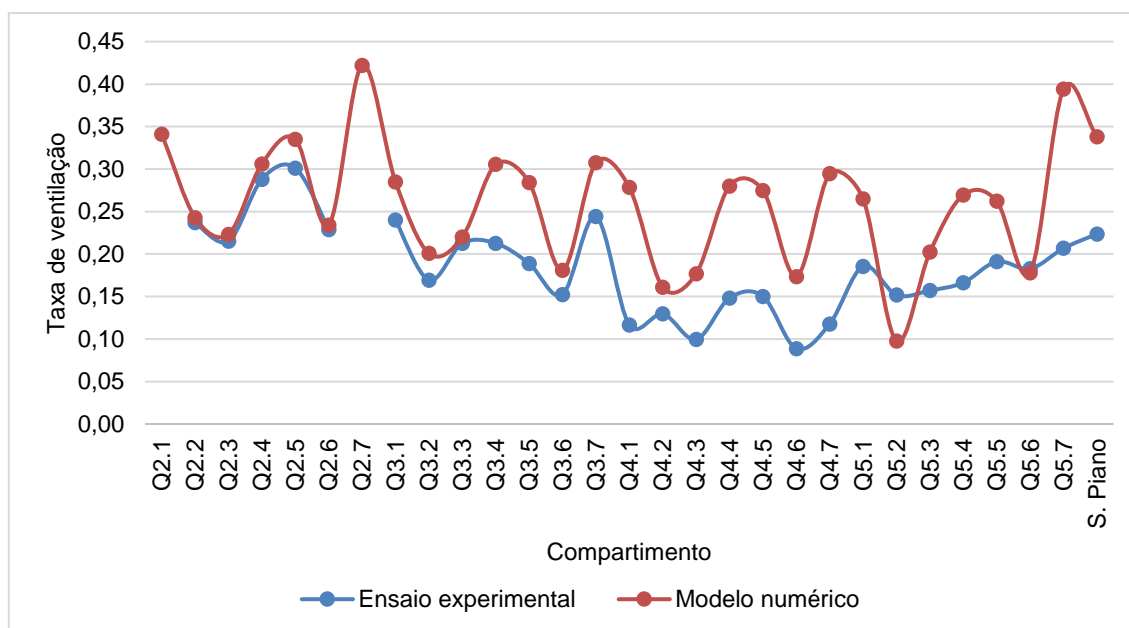


Figura 4.1 - Comparação da taxa de ventilação entre os PFT's e o modelo Base

Conforme já foi referido anteriormente, foram igualmente realizados ensaios de campo através do método do gás traçador e com o método de decaimento, com o objetivo de determinar a taxa de ventilação de alguns dos compartimentos.

Recorrendo ao modelo numérico e no período em que estes ensaios ocorreram foram realizadas simulações com a finalidade de averiguar se o modelo de simulação replica as condições existentes nos períodos em causa.

Na tabela 4.2 e 4.3 encontram-se os valores obtidos através dos ensaios experimentais com os valores obtidos pelo modelo numérico.

Tabela 4.2 - Comparação da taxa de ventilação entre o método do gás traçador e o modelo Base

Compartimento	Início	Fim	Taxa de ventilação Experimental	Taxa de ventilação Numérico
Q4.2	26-2-14 18:55	27-2-14 6:35	0,32	0,16
Q2.3	26-2-14 19:58	27-2-14 3:37	0,47	0,38
Q4.6	4-6-14 21:36	5-6-14 6:50	0,71	0,64
Q2.3	4-6-14 19:00	5-6-14 6:14	0,66	0,64
Q3.7	4-6-14 19:36	5-6-14 8:24	0,31	0,24

Analisando a tabela 4.2, nos dois primeiros casos, compartimentos Q4.2 e Q2.3, os ensaios experimentais foram realizados em período de Inverno. Comparando os valores obtidos pelo ensaio experimental e pelo modelo numérico conclui-se que os valores são ligeiramente diferentes. Para replicar as condições existentes durante os ensaios experimentais é necessário manter abertas as portas interiores e das instalações sanitárias, fazendo com que a taxa de ventilação pelo modelo numérico aumente.

Nos ensaios experimentais realizados em períodos de Verão, compartimentos Q4.6, Q2.3 e Q3.7, os valores obtidos pelo modelo numérico são próximos dos valores obtidos pelo ensaio experimental. Com o objetivo de aproximar os valores é necessário que no modelo numérico se mantenham as portas das instalações sanitárias abertas e a existência de alguma folga na porta do compartimento, ou seja, estando esta ligeiramente encostada. De uma forma geral, pode-se concluir que o modelo Base simula bem as condições presentes no edifício em estudo.

Tabela 4.3 - Comparação da taxa de ventilação entre o método de decaimento e o modelo Base

Compartimento	Início	Fim	Taxa de ventilação Experimental	Taxa de ventilação Numérico
Q2.AUX	11-4-14 14:41	11-4-14 18:10	0,31	0,28
Q2.2	11-4-14 13:23	11-4-14 14:05	0,17	0,19
Loja	29-11-13 15:14	29-11-13 17:23	0,04	0,11

Analisando a tabela 4.3, os resultados obtidos pelo modelo numérico são praticamente iguais aos obtidos pelo ensaio experimental realizado pelo método de decaimento. Com o objetivo melhorar os resultados obtidos pelo modelo numérico basta que se aumente a altura das frinchas das portas dos compartimentos em 2mm. Fica assim concluído que o modelo Base representa bem as condições existentes no edifício em estudo.

4.3.2. Fase 1

A Fase 1 deste estudo partiu do modelo Base e teve a finalidade de averiguar a sensibilidade do modelo, sendo os quatro casos estudados:

- Porta das instalações sanitárias fechadas (modelo Base);
- Porta das instalações sanitárias abertas;
- Portas com frinchas de 1 mm de espessura;
- Portas com frinchas de 5 mm de espessura.

Foram realizadas simulações anuais para o ano meteorológico de 2014 com o objetivo de estudar o comportamento da taxa de ventilação de ar. A figura 4.2 representa o comportamento da taxa de ventilação ao longo do ano dos diversos compartimentos.

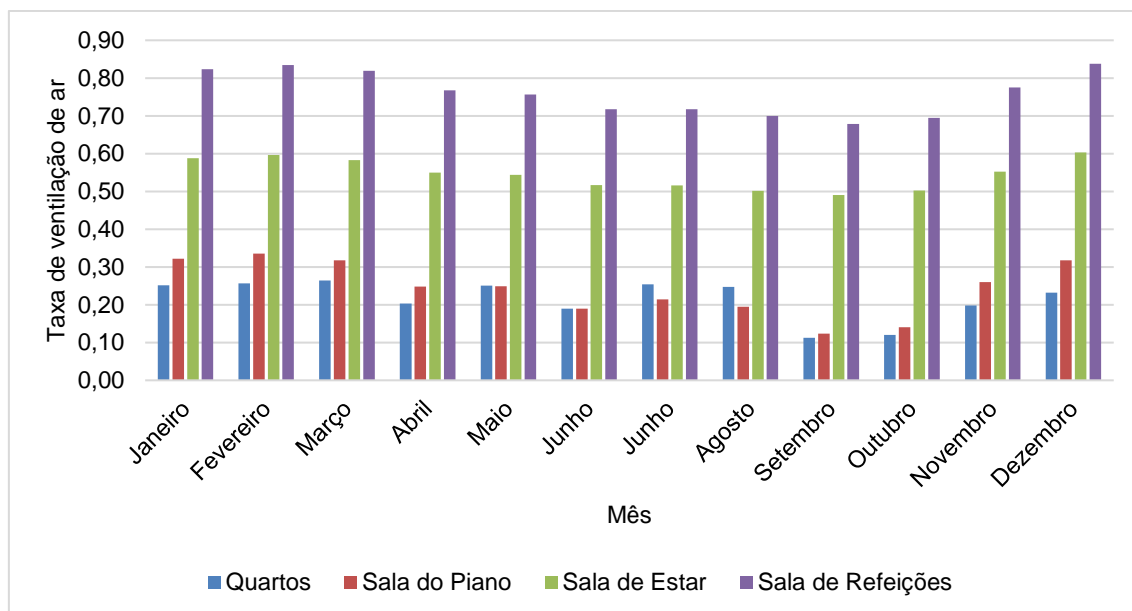


Figura 4.2 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal do modelo Base (valores médios)

Analisando a figura 4.2 fica evidente que o comportamento da taxa de ventilação de ar é semelhante entre os vários tipos de compartimentos. Ainda outra conclusão que se pode retirar é que tanto a Sala de Estar como a de Refeições apresentam taxas de ventilação de ar relativamente aceitáveis (0,55 e 0,76, respetivamente). Relativamente aos Quartos e à Sala do Piano as taxas de ventilação de ar encontram-se abaixo do recomendado (0,22 e 0,24, respetivamente) (NP1037-1, 2015).

Na tabela 4.4 encontram-se os resultados médios anuais das taxas de ventilação de ar, para as 4 premissas anteriormente apresentadas.

Tabela 4.4 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 1 (valores médios)

Compartimento	Portas instalações sanitárias fechadas	Portas instalações sanitárias abertas	Portas com frinchas de 1 mm	Portas com frinchas de 5 mm
Quartos	0,22	0,28	0,21	0,31
Sala do Piano	0,24	0,25	0,24	0,52
Sala de Estar	0,55	0,55	0,45	0,65
Sala de Refeições	0,76	0,77	0,63	0,91

Pela análise da tabela 4.4 fica evidente que, o facto de os utentes terem a porta das instalações sanitárias dos quartos abertas, vai ter pouco impacte na taxa de ventilação média anual devido à grande secção das folgas da junta móvel.

Analisando os valores obtidos através do modelo numérico para as portas com 1 mm e 5 mm de altura de frincha pode-se concluir que podem ter grande influência na ventilação do edifício. Portanto para as portas que não sejam conhecidas a altura da frincha é razoável assumir um valor médio de altura de frincha.

Refere-se que no Anexo IV, encontram-se as tabelas com os resultados dos caudais e taxas de ventilação de ar de todos os compartimentos.

4.3.3. Fase 2

A Fase 2 das simulações consistiu em aplicar um sistema de ventilação de acordo com a NP1037-1:2015, no que diz respeito ao dimensionamento das aberturas de admissão de ar, de passagem de ar interior e de exaustão de ar. Nesta fase foram considerados dois casos de estudo:

- Aberturas de admissão de ar não reguláveis;
- Aberturas de admissão de ar autorreguláveis.

Salienta-se que o dimensionamento anteriormente referido se encontra na tabela 3.8 da secção 3.9.1. Na tabela 4.5 constam os resultados obtidos da taxa de ventilação de ar para os dois casos de estudo.

Refere-se que no Anexo V estão disponíveis os resultados de todos os compartimentos, relembrando que se aplicou a relação entre os caudais, conforme apresentado na secção 4.2.

Tabela 4.5 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 2 (valores médios)

Compartimento	NP1037-1:2015 Aberturas não reguláveis	Relação entre caudais	NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis	Relação entre caudais
Quartos	0,57	0,49	0,71	0,60
Sala do Piano	0,24	0,25	0,24	0,25
Sala de Estar	1,00	1,00	0,84	0,84
Sala de Refeições	1,19	1,19	1,11	1,11

Analisado a tabela 4.5 conclui-se que o uso de aberturas autorreguláveis é melhor face às

aberturas não reguláveis (0,71 e 0,57, respetivamente). É devido ao funcionamento das aberturas autorreguláveis, funcionam a níveis de pressão entre o interior e exterior diferentes (figura 4.3), que se obteve melhores resultados que as aberturas não reguláveis.

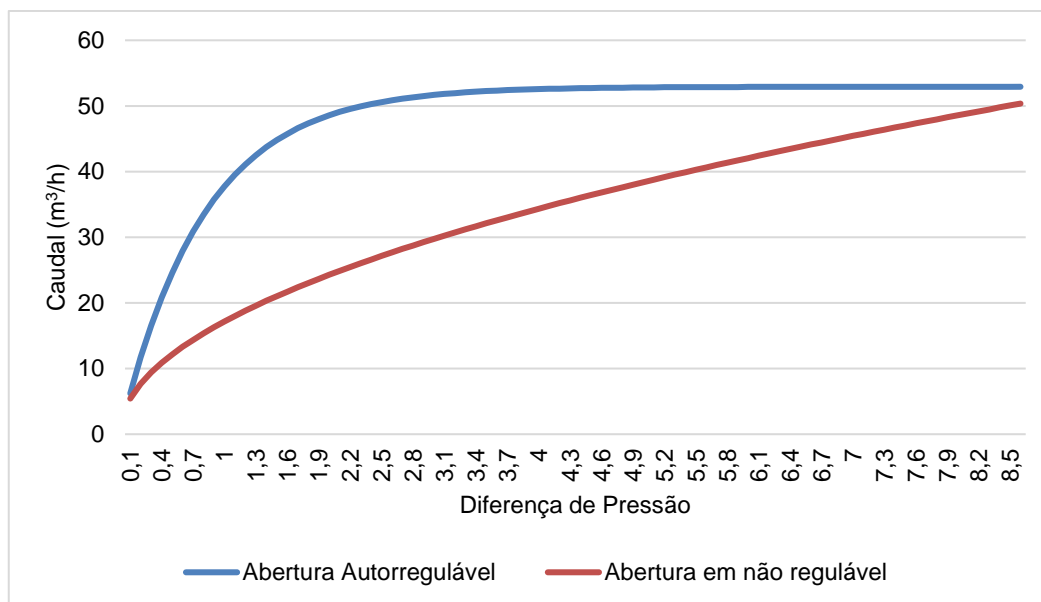


Figura 4.3 - Comparação entre abertura autorregulável e não regulável

Nas figuras 4.4 e 4.5 encontram-se o comportamento da taxa de ventilação ao longo do ano dos diversos compartimentos para aberturas não reguláveis e aberturas autorreguláveis, respetivamente.

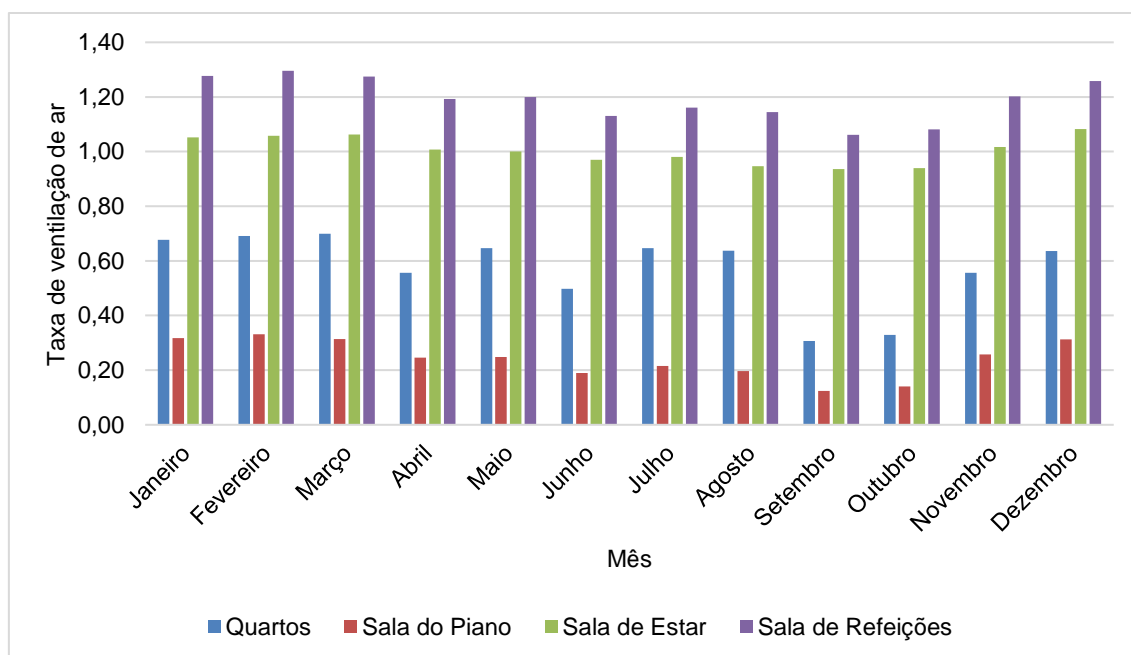


Figura 4.4 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis

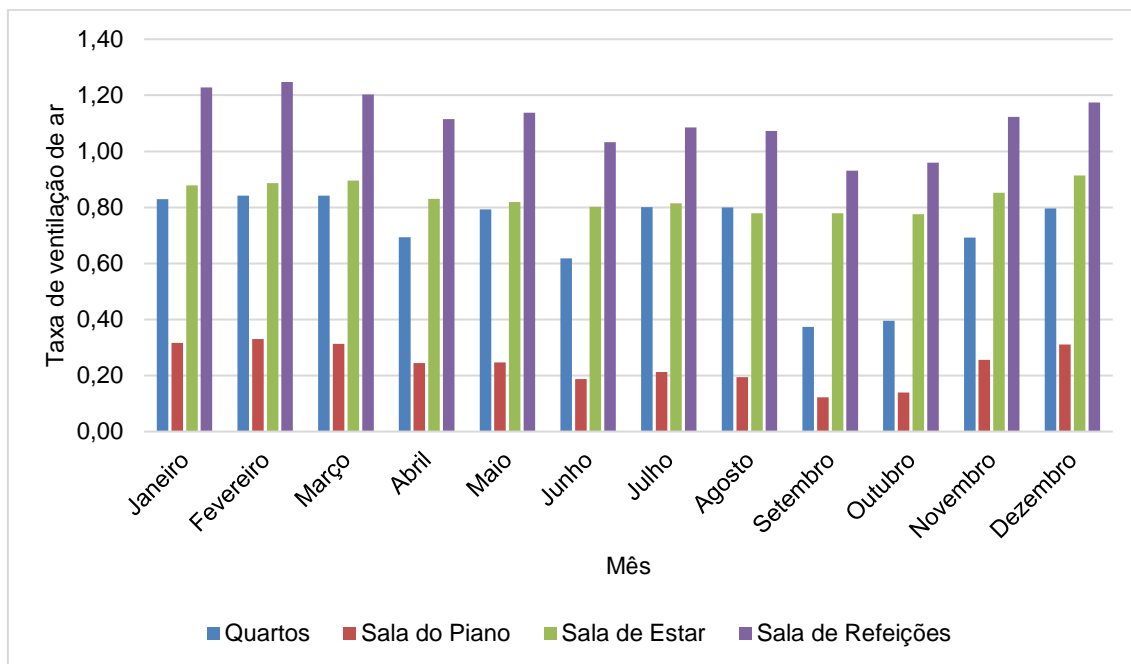


Figura 4.5 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis

Tendo por base as figuras 4.4 e 4.5 é possível concluir o comportamento da taxa de ventilação de ar é igual em ambas as situações (uso de aberturas não reguláveis e autorreguláveis) apenas sendo diferente o valor da taxa de ventilação de ar. Em ambos os casos, no mês de Setembro e Outubro as taxas de ventilação de ar são inferiores aos restantes meses, devendo-se ao comportamento do vento (tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Comportamento do vento (valores médios)

Mês	Velocidade média (m/s)	Rumo médio (°)	Percentagem do vento no quadrante			
			0° - 90°	90° - 180°	180° - 270°	270° - 360°
Janeiro	2,6	239,2	13,7%	4,3%	37,4%	44,6%
Fevereiro	2,6	258,0	2,9%	3,6%	50,9%	42,7%
Março	2,9	207,7	32,6%	6,7%	15,4%	45,3%
Abril	2,3	221,7	21,6%	7,3%	29,1%	42,0%
Maió	3,4	229,4	28,8%	1,3%	14,3%	55,6%
Junho	2,6	241,0	17,3%	3,5%	33,1%	46,1%
Julho	3,8	273,5	14,3%	2,1%	12,3%	71,4%
Agosto	3,8	267,0	18,7%	0,5%	5,9%	74,8%
Setembro	1,5	203,3	17,5%	13,7%	48,1%	20,7%
Outubro	1,6	158,2	45,5%	6,5%	30,3%	17,7%
Novembro	2,2	209,0	25,1%	8,9%	30,3%	35,7%
Dezembro	2,2	134,4	66,3%	1,9%	2,1%	29,7%

Analisando o comportamento do vento e do seu rumo ao longo do ano, conforme a tabela 4.6, conclui-se que é devido à velocidade do vento que acontece o anteriormente explicitado (1,5 m/s e 1,6 m/s de velocidade do vento para os meses de Setembro e Outubro, respetivamente). Nesta tabela, é possível perceber que o rumo, Norte – Oeste, 270º a 360º, é predominante e, por outro lado, o rumo Sul – Este, 90º a 180º, é aquele em que ocorre em menor percentagem de tempo. Para os restantes rumos, a sua distribuição ao longo do tempo é variável.

4.3.4. Fase 3

A fase 3 consistiu em aplicar um sistema de ventilação de acordo com a NP1037-2:2009, no que respeita ao dimensionamento dos caudais de ar em função do número de ocupantes. Nesta fase, foram igualmente estudados dois casos distintos:

- Aberturas de admissão de ar não reguláveis;
- Aberturas de admissão de ar autorreguláveis.

Salienta-se que o dimensionamento anteriormente referido se encontra na tabela 3.9 da secção 3.9.2. Na tabela 4.7 constam os resultados obtidos da taxa de ventilação de ar para os dois casos de estudo.

Refere-se que no Anexo VI está disponível os resultados de todos os compartimentos, relembrando que se realizou a relação entre os caudais, conforme apresentado no capítulo 4.2.

Tabela 4.7 – Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 3 (valores médios)

Compartimento	NP1037-2:2009 Aberturas não regulável	Relação entre caudais	NP1037-2:2009 Aberturas autorreguláveis	Relação entre caudais
Quartos	0,37	0,59	0,45	0,72
Sala do Piano	0,24	0,26	0,24	0,26
Sala de Estar	0,99	1,01	0,82	0,85
Sala de Refeições	1,19	1,19	1,11	1,11

Analisado a tabela 4.7 conclui-se que o uso de aberturas autorreguláveis é melhor face às aberturas não reguláveis (0,45 e 0,37, respetivamente).

Nas figuras 4.6 e 4.7 encontra-se o comportamento da taxa de ventilação ao longo do ano dos diversos compartimentos para aberturas não reguláveis e aberturas autorreguláveis, respetivamente.

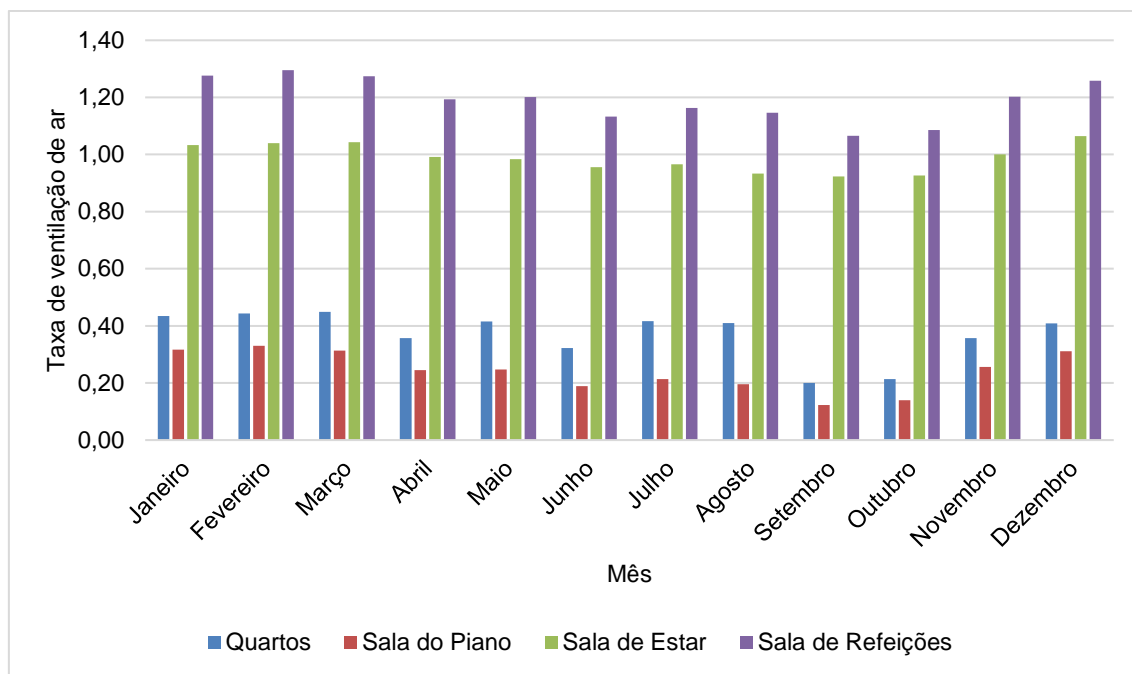


Figura 4.6 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-2:2009 com aberturas não reguláveis

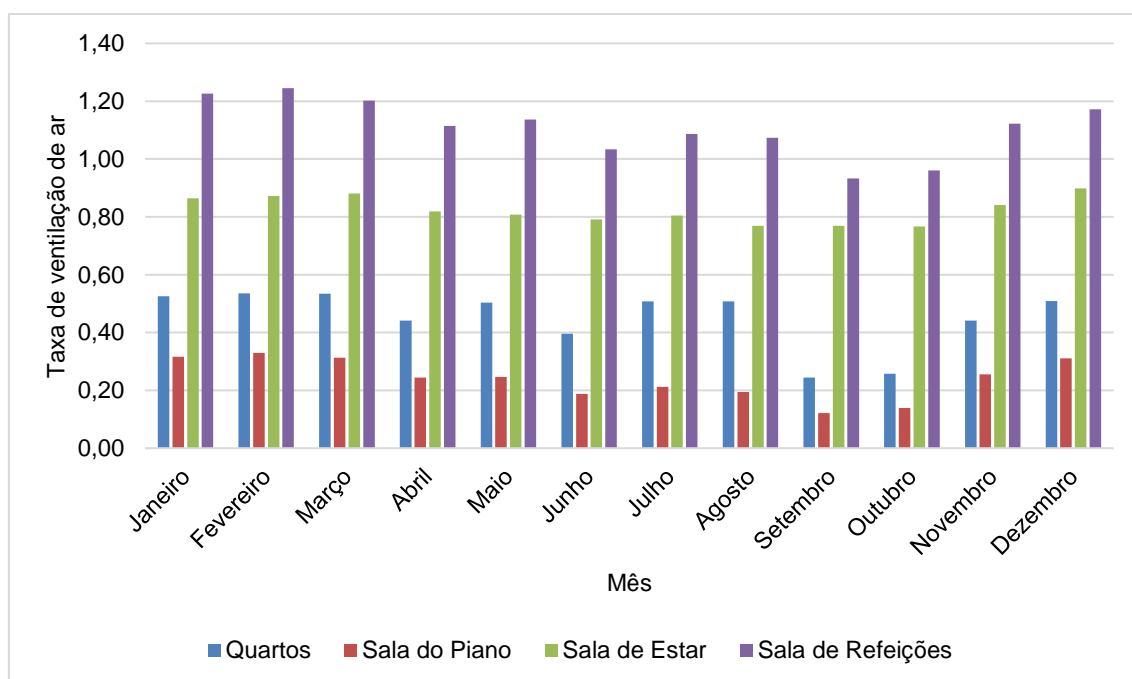


Figura 4.7 - Gráfico do taxa de ventilação de ar mensal - NP1037-2:2009 com aberturas autorreguláveis

4.3.5. Fase 4

A fase 4 deste trabalho consistiu em utilizar a simulação da fase 2 com aberturas de admissão de ar autorreguláveis, pois obteve-se melhores resultados que a fase 3 e estudar o comportamento da taxa de ventilação de ar, nos compartimentos em que não existe instalação sanitária privativa, através da introdução de uma conduta que permitirá a ventilação cruzada, isto é, através da fachada oposta.

Este estudo decorre do facto da taxa de ventilação de ar destes compartimentos ser baixa em comparação com os restantes compartimentos (0,52 e 0,71, respetivamente), colocando a possibilidade de os utentes respirarem ar viciado.

Com o objetivo de melhorar a taxa de ventilação destes compartimentos foi ponderada a utilização de uma conduta de ar ligada à fachada oposta de forma a permitir a ventilação adequada dos compartimentos afetados.

Foram realizadas diversas simulações com o objetivo de encontrar valores aceitáveis, ou seja, que fossem semelhantes à média dos restantes compartimentos (tabela 4.8).

Tabela 4.8 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 4

Estratégia	Quarto 2.2	Quarto 3.2	Quarto 4.2	Quarto 5.2
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis	0,61	0,52	0,49	0,45
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 300 mm	0,47	0,46	0,46	0,46
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 300 mm caudal + 30%	0,58	0,56	0,57	0,56
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 500 mm caudal + 30%	0,59	0,56	0,58	0,58
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 300 mm caudal + 50%	0,65	0,63	0,64	0,63
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 500 mm caudal + 50%	0,67	0,65	0,66	0,65

Estratégia	Quarto 2.2	Quarto 3.2	Quarto 4.2	Quarto 5.2
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 300 mm caudal + 75%	0,74	0,71	0,72	0,71
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 500 mm caudal + 75%	0,76	0,74	0,75	0,74

Analisando a tabela 4.8 e tendo em mente o objetivo de obter taxas de ventilação de ar nestes compartimentos semelhantes à média de os restantes compartimentos, a melhor estratégia é o uso de condutas de 300 mm e o aumento em 75% dos caudais de admissão das aberturas autorreguláveis (0,74 com uso de conduta e 0,71 sem uso de condutas).

Refere-se que no Anexo VII estão disponíveis os resultados de todos os compartimentos, para a solução adotada lembrando que se realizou a relação entre os caudais, conforme apresentado no capítulo 4.2.

Na tabela 4.9 encontram-se os resultados médios da taxa de ventilação de ar para os diversos compartimentos.

Tabela 4.9 - Comparação de resultados médios da Fase 2 e Fase 4 (valores médios)

Compartimento	Fase 2: NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis	Relação entre caudais	Fase 4: NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis conduta de 300 mm caudal + 75%	Relação entre caudais
Quartos	0,71	0,60	0,74	0,63
Sala do Piano	0,24	0,25	0,24	0,25
Sala de Estar	0,84	0,84	0,84	0,84
Sala de Refeições	1,11	1,11	1,12	1,12

4.3.6. Fase 5

A fase 5 das simulações consistiu em utilizar a simulação da fase 2 com aberturas de admissão de ar autorreguláveis e incrementar em 30% os caudais de admissão e exaustão. Para esta situação foi seguido o descrito na Norma, ou seja, o caudal a admitir é o maior necessário entre o caudal do compartimento principal ou de serviço. Paralelamente, foi realizada uma

simulação com o objetivo de averiguar quanto seria necessário incrementar, sendo apenas considerado o caudal para o compartimento principal necessário, de modo a obter uma renovação por hora (NP1037-1, 2015).

Refere-se que no Anexo VIII estão disponíveis os resultados de todos os compartimentos, para a solução adotada lembrando que se realizou a relação entre os caudais, conforme apresentado no capítulo 4.2.

Na tabela 4.10 encontram-se os resultados da taxa de ventilação de ar das situações estudadas.

Tabela 4.10 - Resultados da taxa de ventilação de ar da Fase 5 (valores médios)

Compartimento	NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis caudal + 30%	Relação entre caudais	NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis caudal + 75%	Relação entre caudais
Quartos	0,86	0,73	0,97	0,83

Salienta-se que apenas para os Quartos é que foi feito o incremento, pois na Sala do Piano o valor da taxa de ventilação de ar é extremamente baixo e ficou evidente que, apesar das várias estratégias implementadas, pouca influência tem para o seu aumento (0,24 em média). Relativamente à Sala de Estar e de Refeições aplicando diretamente a NP1037-1:2015 obtiveram-se valores satisfatórios, portanto não é necessário fazer nenhum tipo de incremento (0,84 e 1,11, respetivamente).

Da tabela 4.10 e com o objetivo de se ter taxas de ventilação de ar próximos aos valores recomendados pela Norma referida anteriormente (NP1037-1, 2015), é necessário incrementar os caudais de admissão e exaustão em cerca de 75%, salvaguardando que nesta situação apenas se teve em conta o volume do compartimento e não o volume das instalações sanitárias.

4.4. Análise pormenorizada de compartimentos

Foram realizadas análises pormenorizadas a 6 compartimentos escolhidos que diferem em taxa de ventilação de ar segundo o modelo Base e segundo o piso em que se localizam. Foram estudados o efeito da inversão do fluxo de ar nas condutas de ventilação dos compartimentos, o comportamento da taxa de renovação de ar ao longo do ano e situações de potencial desconforto térmico nestes compartimentos.

4.4.1. Inversão de fluxo de ar

A inversão do fluxo de ar acontece quando a temperatura exterior é superior à temperatura interior, neste caso, 20 graus centígrados. Na figura 4.8 encontra-se um gráfico da temperatura exterior para o ano meteorológico 2014, em estudo neste trabalho.

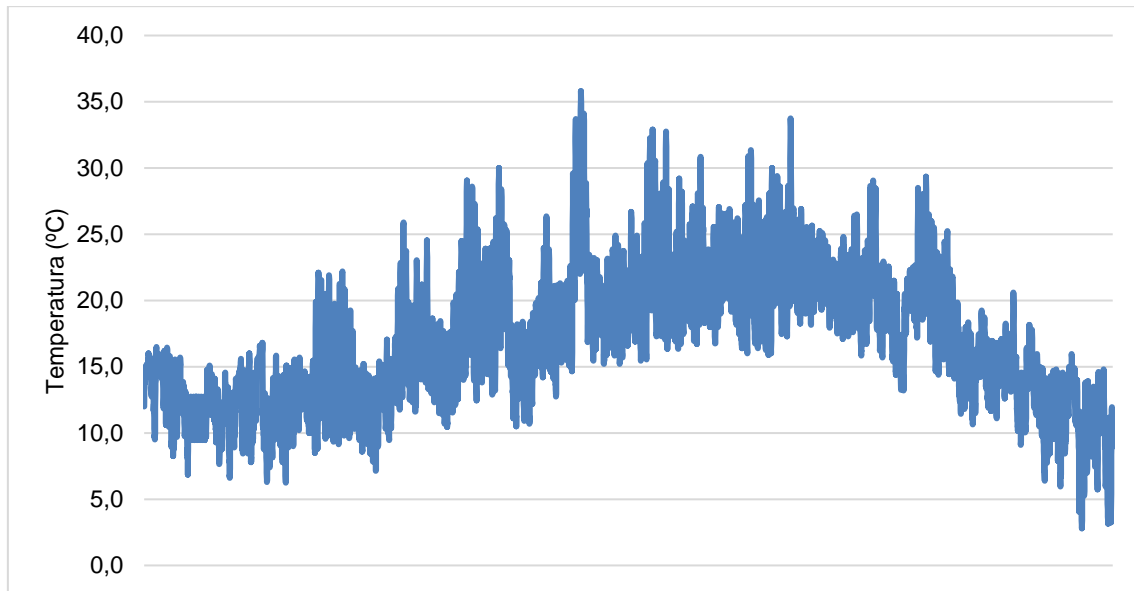


Figura 4.8 - Gráfico da temperatura exterior para o ano meteorológico de 2014

Analisando a figura 4.8 conclui-se que existe a possibilidade de ocorrer a inversão do fluxo de ar em 26,7% do tempo durante o ano de 2014. Esta percentagem corresponde ao número de vezes em que a temperatura exterior esteve mais alta que a temperatura interior.

Na tabela 4.11 encontram-se os resultados obtidos para a inversão do fluxo de ar para os compartimentos selecionados.

Tabela 4.11 - Percentagem de inversão do fluxo de ar

Estratégia	Quarto 2.3	Quarto 3.4	Quarto 4.5	Quarto 5.6	Quarto 5.7
Modelo Base	13,36 %	11,82 %	12,52 %	11,31 %	4,12 %
NP1037-1:2015 Aberturas não reguláveis	11,94 %	11,09 %	8,94 %	4,11 %	3,62 %
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis	11,96 %	11,04 %	9,00 %	4,22 %	3,62 %

Estratégia	Quarto 2.3	Quarto 3.4	Quarto 4.5	Quarto 5.6	Quarto 5.7
NP1037-2:2009 Aberturas não reguláveis	11,96 %	11,07 %	8,98 %	4,20 %	3,63 %
NP1037-2:2009 Aberturas autorreguláveis	12,00 %	11,03 %	9,12 %	4,41 %	3,63 %

Pela análise da tabela 4.11 fica evidente que, apesar de em 26,7% do tempo poder acontecer inversão do fluxo de ar, este, na realidade, apenas acontece aproximadamente em metade desse tempo.

A inversão do fluxo de ar diminui em altura, ou seja, acontece com mais frequência nos pisos inferiores e vai diminuindo gradualmente nos pisos superiores. Este fenômeno acontece, pois, a altura da conduta de ventilação vai diminuindo, ou seja, o efeito de chaminé é cada vez menor.

Fica, igualmente, evidente que a estratégia de ventilação é independente ao fenômeno da inversão do fluxo de ar.

4.4.2. Taxa de renovação de ar

A taxa de renovação média anual para os compartimentos em função da estratégia de ventilação considerada, a estratégia da fase 2 com aberturas de admissão de ar autorreguláveis tem valores aceitáveis (0,71 em média), mas ao longo do ano pode existir períodos em que este valor seja mais baixo ou mais alto.

Com o objetivo de estudar o comportamento da taxa de renovação de ar ao longo do ano, foi criado um algoritmo que determina a percentagem de tempo em que a taxa de renovação a cada instante é “x vezes” a taxa de renovação média anual das simulações realizadas, equação:

$$\text{Relação entre taxas de renovação de ar} = \frac{\text{taxa de renovação de ar instantânea}}{\text{taxa de renovação de ar média anual}} \quad 4.2$$

A figura 4.9 e todas em diante representam a distribuição da relação entre taxas de renovação de ar ao longo do ano de 2014.

A figura 4.9 encontram-se os resultados obtidos para os vários compartimentos estudados simulando o modelo Base.

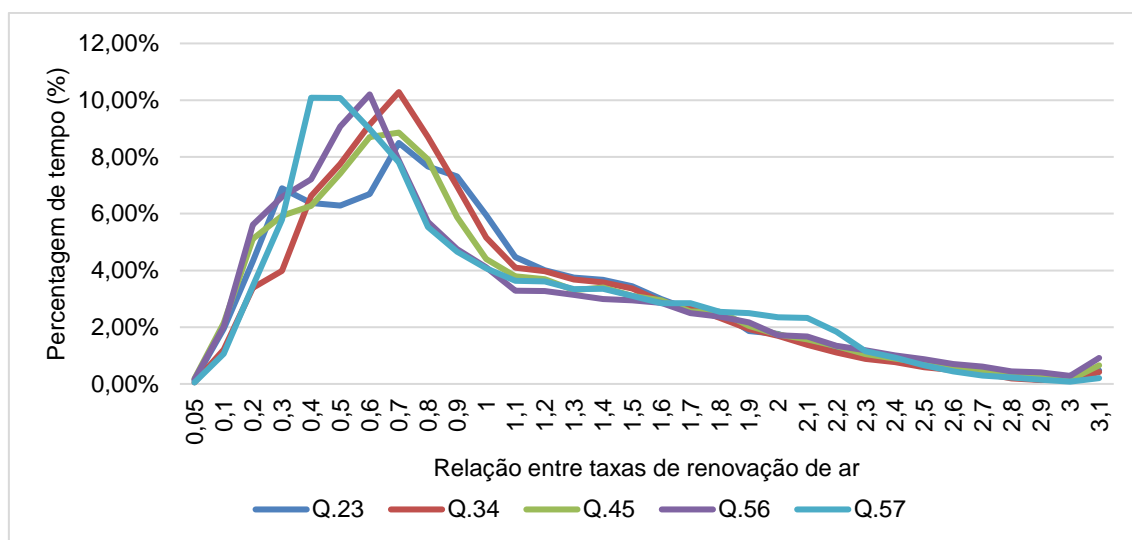


Figura 4.9 - Comportamento da taxa de renovação de ar (modelo Base)

A título exemplificativo, uma relação entre taxas de renovação de ar de 1, que significa que a taxa de renovação de ar instantânea é igual à taxa de renovação de ar média anual, é igual a 5% do tempo, em 38% do tempo a taxa de renovação de ar instantânea encontra-se acima do valor da taxa de renovação de ar média anual e em 57% do tempo a taxa de renovação de ar instantânea encontram-se abaixo do valor da taxa de renovação média anual.

Na figura 4.10 encontram-se os resultados obtidos quando aplicada a NP1037-1:2015 com aberturas não autorreguláveis.

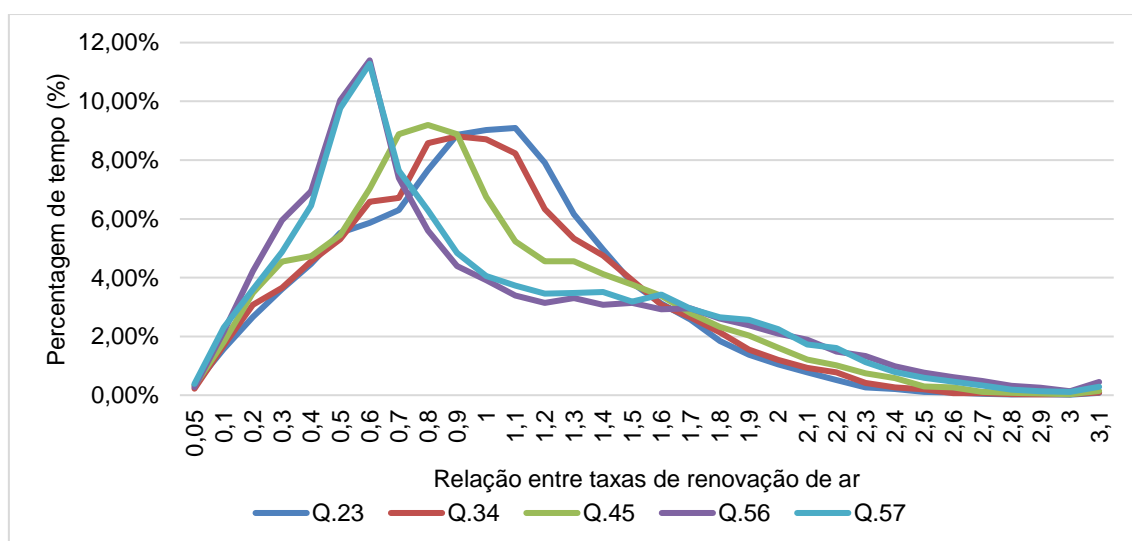


Figura 4.10 - Comportamento da taxa de renovação de ar - NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis

Na figura 4.11 encontram-se os resultados obtidos quando aplicada a NP1037-2:2009 com aberturas não autorreguláveis.

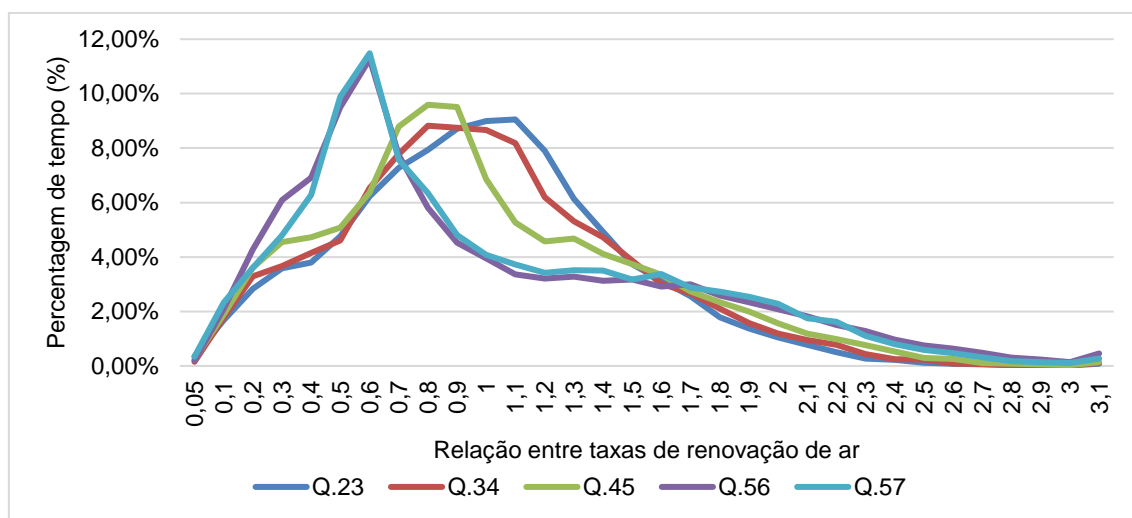


Figura 4.11 - Comportamento da taxa de renovação de - NP1037-2:2009 com aberturas não reguláveis

Analisando a figura 4.10 e 4.11 fica evidente que o Q2.3 apresenta percentagens de tempo em que tem maior valor de taxa de renovação de ar instantânea e, em seguida, os Q3.4 e Q4.5. O anteriormente referido acontece, pois, o efeito de chaminé é mais intenso no Q2.3 e vai diminuído gradualmente nos restantes casos. Os Q5.6 e Q5.7 têm um comportamento muito semelhante, portanto pode-se concluir que em compartimentos do mesmo piso, o comportamento é similar.

Na figura 4.12 encontram-se os resultados obtidos quando aplicada a NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis.

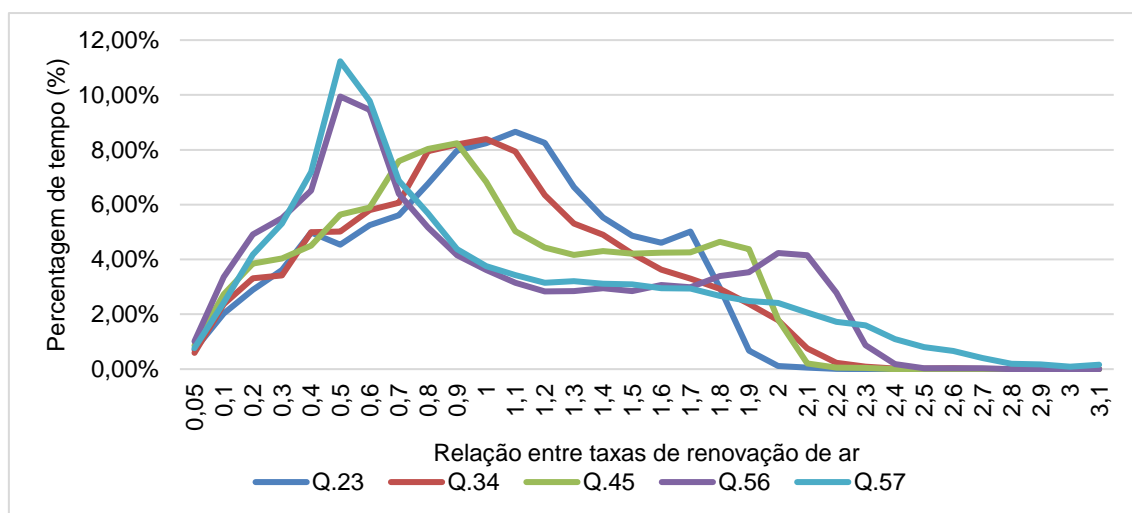


Figura 4.12 - Comportamento da taxa de renovação de ar NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis

Na figura 4.13 encontram-se os resultados obtidos quando aplicada a NP1037-2:2009 com aberturas autorreguláveis.

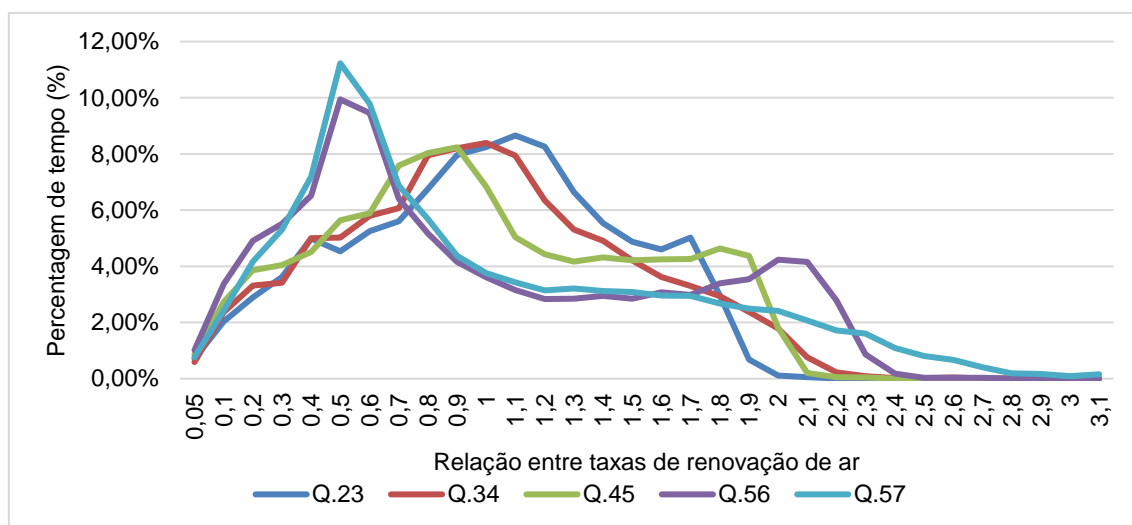


Figura 4.13 - Comportamento da taxa de renovação de ar NP1037-2:2009 com aberturas autorreguláveis

Analisando a figura 4.12 e 4.13, pode-se observar o comportamento das aberturas autorreguláveis. É possível identificar que existe uma queda repentina, que se deve a estas aberturas terem o caudal máximo limitado a um valor predefinido. Esta quebra apenas acontece entre 1,8 e 2,4, pois o caudal máximo foi limitado para uma renovação por hora, a qual não corresponde a uma relação de 1, pois o valor da taxa de renovação de ar média anual é inferior a 1.

As figuras 4.9 a 4.13, de um modo geral, seguem a curva da figura 4.14, comportamento da velocidade do vento ao longo do ano.

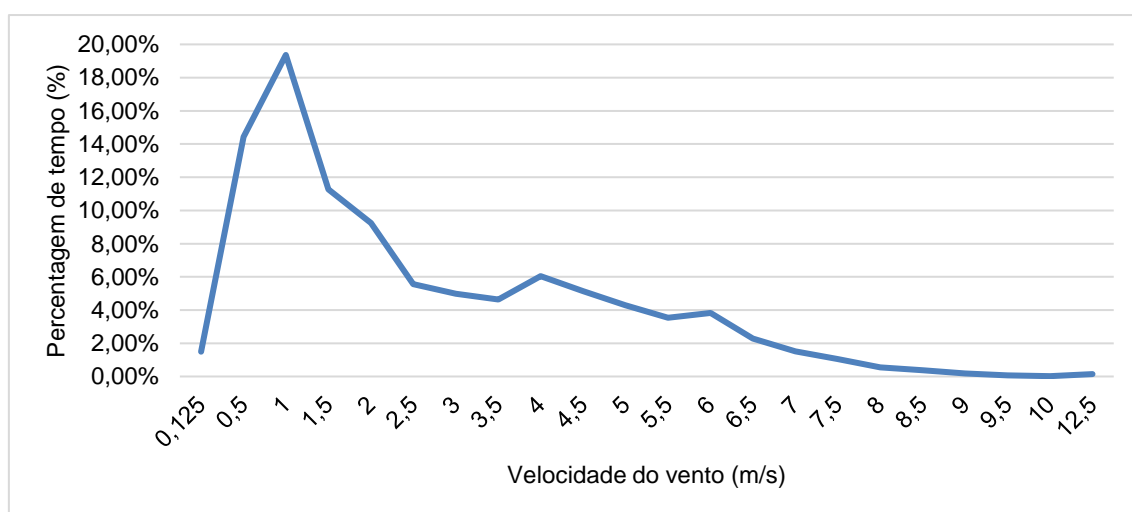


Figura 4.14 - Comportamento da velocidade do vento ao longo do ano

4.4.3. Situação de potencial desconforto térmico

Situações de potencial desconforto térmico podem ocorrer o caudal de ar é superior ao necessário. Com o objetivo de estudar este fenómeno foi definido o seguinte critério: sempre que a taxa de ventilação for superior a uma renovação de ar por hora pode ocorrer uma situação de potencial desconforto (NP1037:1, 2015).

Recorrendo aos resultados obtidos no estudo anterior foi analisado a percentagem de tempo em que o compartimento está sujeito a uma taxa de renovação de ar superior à definida no critério anterior explicitado.

Salienta-se que a partir da barra vertical, com cor correspondente à curva em questão, para a direita, se está numa situação de potencial desconforto.

Na figura 4.15 encontram-se os resultados obtidos para a situação de desconforto no compartimento Q2.3.

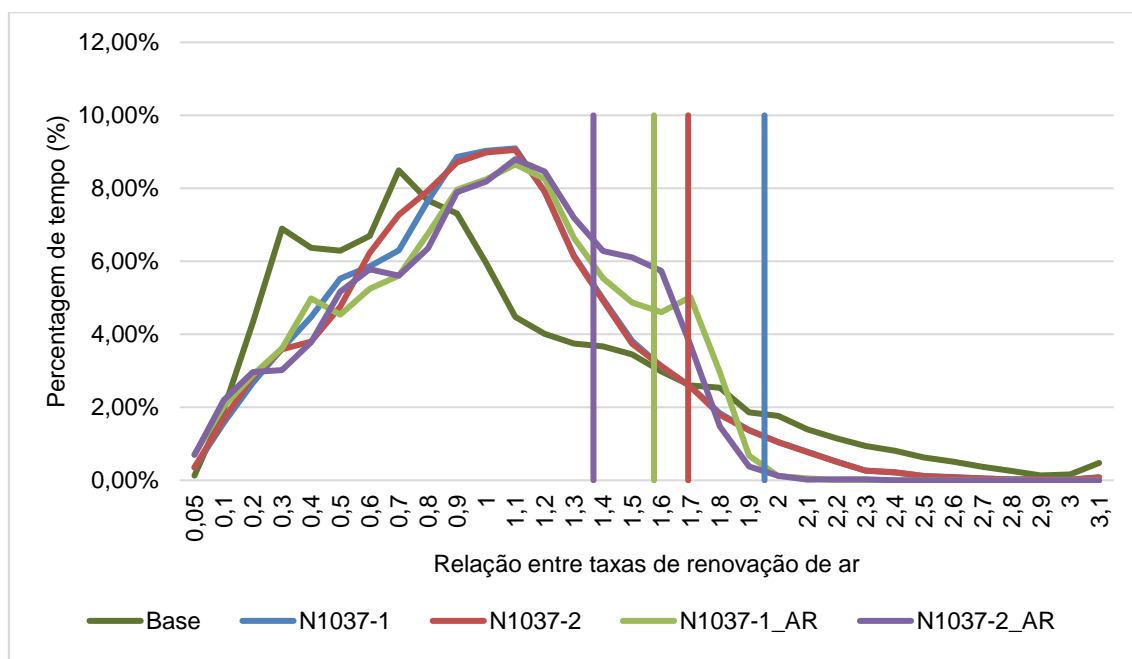


Figura 4.15 - Situação de desconforto para o Quarto 2.3

Analisado a figura 4.15 conclui-se que as aberturas autorreguláveis têm maior percentagem de tempo em situação de potencial desconforto térmico em relação às aberturas não reguláveis. Relativamente ao modelo Base, a situação de potencial desconforto térmico é praticamente inexistente, pois a taxa de renovação de ar é bastante baixa.

Na figura 4.16 encontram-se os resultados obtidos para a situação de desconforto no compartimento Q3.4.

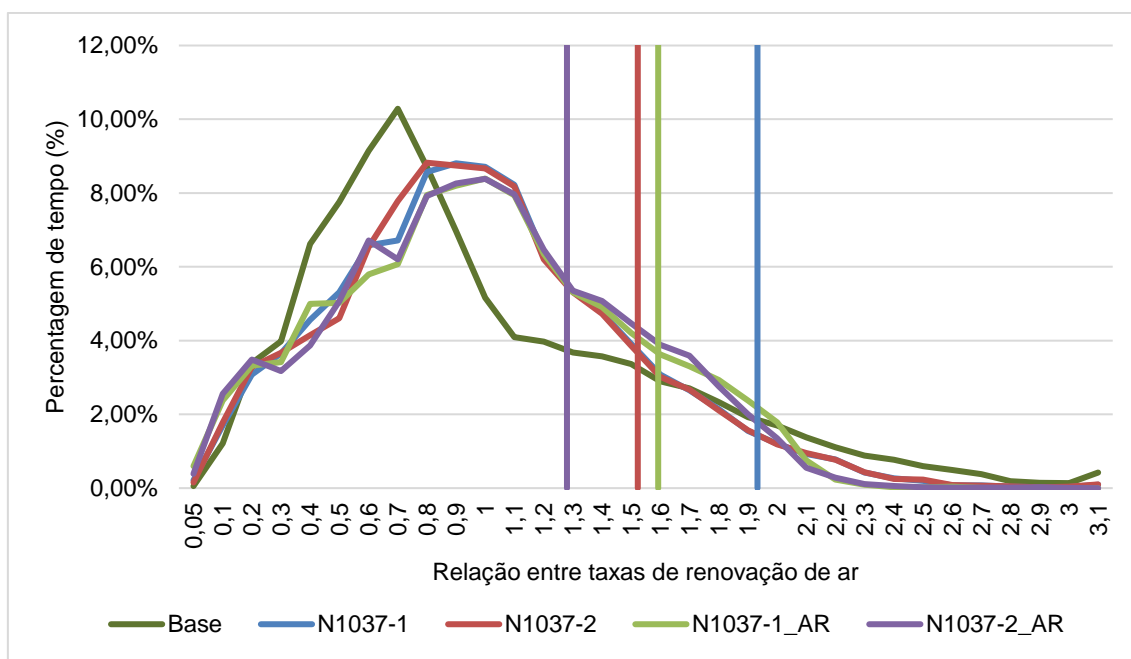


Figura 4.16 - Situação de desconforto para o Quarto 3.4

Na figura 4.17 encontram-se os resultados obtidos para a situação de desconforto no compartimento Q4.5.

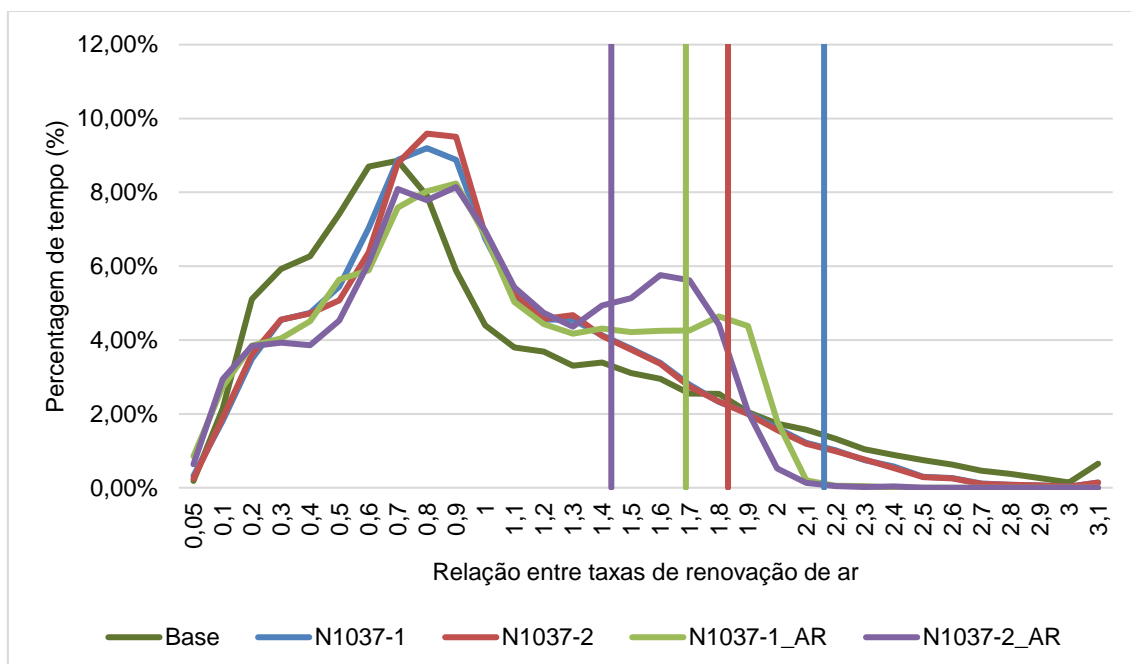


Figura 4.17 - Situação de desconforto para o Quarto 4.5

Através da análise da figura 4.16 pode-se concluir que, e mais uma vez, que as aberturas autorreguláveis têm maior percentagem de tempo em situação de potencial desconforto térmico em relação às aberturas não reguláveis. Novamente, o modelo Base este fenómeno é praticamente existente.

Analisando a figura 4.17 pode-se notar, que contrariamente aos casos anteriores, existe uma ligeira subida da percentagem de ocorrência quando a taxa de renovação de ar é de 1,7 e 1,9 vezes superior ao valor médio anual segundo a NP1037-2:2009 e a NP1037-1:2015, respetivamente, com aberturas autorreguláveis, devendo-se ao facto de serem valores limites ocorrendo com maior frequência.

Na figura 4.18 encontram-se os resultados obtidos para a situação de desconforto no compartimento Q5.6.

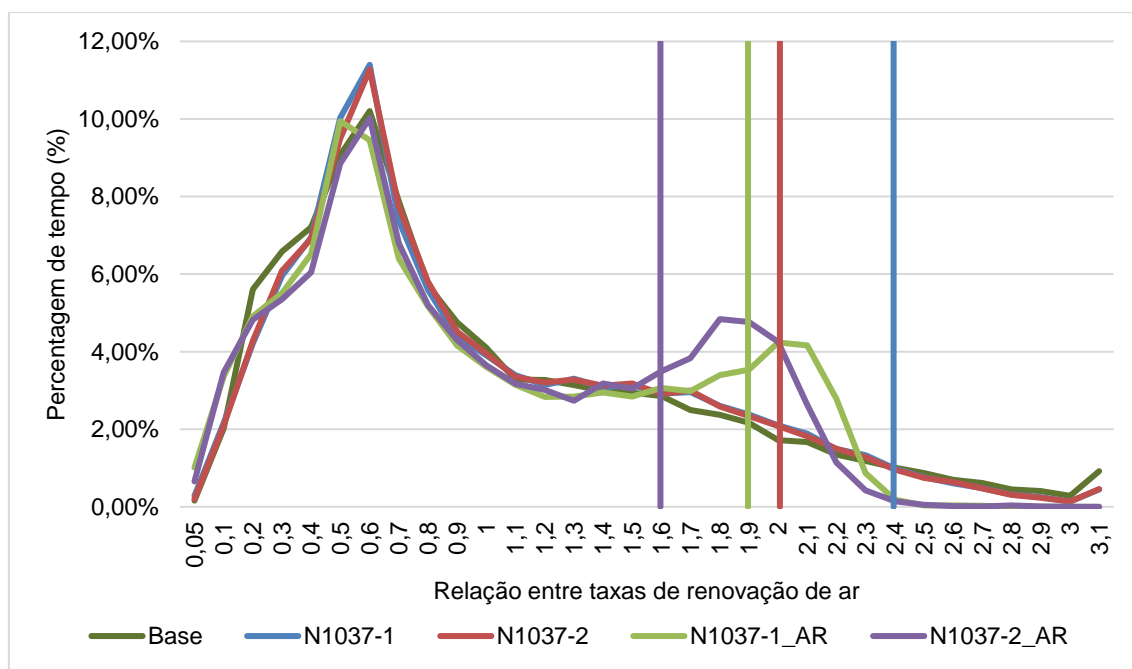


Figura 4.18 - Situação de desconforto para o Quarto 5.6

Através da análise da figura 4.18, observa-se a mesma situação descrita na figura anterior (figura 4.16) mas para valores diferentes (1,8 e 2,1 vezes superior ao valor médio anual segundo a NP1037-2:2009 e a NP1037-1:2015, respetivamente, com aberturas autorreguláveis).

Na tabela 4.12 encontram-se os valores obtidos da percentagem de tempo de ocorrência de situações de potencial desconforto térmico para cada compartimento segundo a estratégia imposta.

Tabela 4.12 - Percentagem de situação de potencial desconforto térmico

Estratégia	Quarto 2.3	Quarto 3.4	Quarto 4.5	Quarto 5.6	Quarto 5.7
Modelo Base	0,01 %	0,08 %	0,07 %	0,00 %	1,32 %
NP1037-1:2015 Aberturas não reguláveis	3,21 %	4,40 %	3,21 %	3,53 %	19,87 %
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis	12,31 %	13,47 %	13,80 %	14,22 %	24,74 %
NP1037-2:2009 Aberturas não reguláveis	7,78 %	14,59 %	8,41 %	9,39 %	33,36 %
NP1037-2:2009 Aberturas autorreguláveis	22,77 %	27,93 %	24,65 %	23,98 %	35,27 %

Analisando a tabela 4.12, fica evidente que, atualmente e para as condições existentes no edifício em estudo, o potencial de desconforto térmico é quase inexistente, devendo-se às baixas taxas de renovação de ar.

Pode-se concluir que, para evitar situações de potencial desconforto térmico, o uso de aberturas não reguláveis é mais vantajoso do que as aberturas autorreguláveis. Fica evidente que se ao adotar a estratégia de ventilação segundo a NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis apenas em 15% do tempo, pode ocorrer situações de potencial desconforto térmico. Salienta-se que o facto do Q5.7 apresentar percentagens muito superiores às restantes deve-se estritamente à existência neste comportamento de uma janela de dimensões maiores com mais juntas móveis que as restantes encontradas nos outros compartimentos.

Na figura 4.19 encontram-se os resultados obtidos para a situação de desconforto no compartimento Q5.2, compartimento sem instalação sanitária.

A ventilação deste compartimento é realizada de maneira diferente que os restantes compartimentos. A admissão de ar é realizada por uma abertura autorregulável no compartimento, a exaustão realiza-se com recurso a uma conduta de ar com diâmetro de 300 mm até à fachada oposta onde foi colocada uma abertura corrente, ou seja, sem controlo de caudal. Houve a necessidade de incrementar o caudal de admissão em 75%, devido às razões já explicadas na seção 4.3.5. Para esta situação específica, não foram realizadas as simulações com a NP1037-2:2009 aberturas não reguláveis e autorreguláveis nem com NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis.

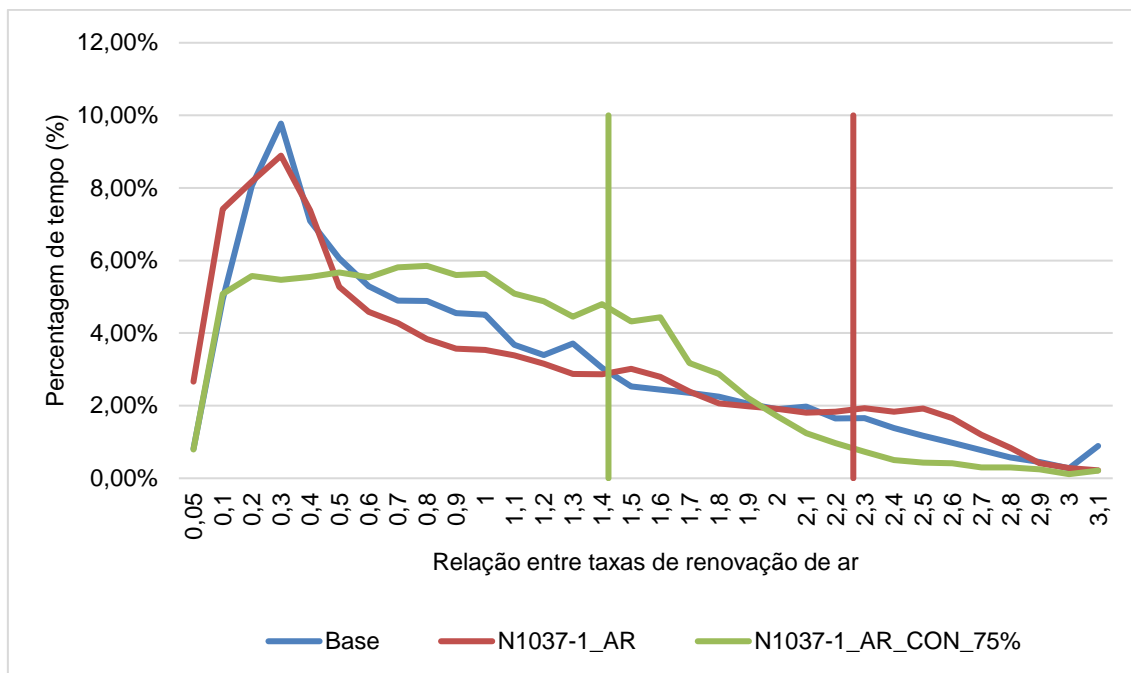


Figura 4.19 - Situação de desconforto para o Quarto 5.2

Através da análise da figura 4.19 conclui-se que ao se recorrer a condutas a percentagem de ocorrência de potencial desconforto térmico é superior, devendo-se isto ao incremento do caudal de admissão em 75%.

Na tabela 4.13 encontram-se os valores obtidos da percentagem de tempo de ocorrência de situações de potencial desconforto térmico para o compartimento Q5.2, compartimento sem instalação sanitária, segundo a estratégia imposta.

Tabela 4.13 - Percentagem de situação de desconforto para o Quarto 5.2

Estratégia	Quarto 5.2
Modelo Base	0,00 %
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis	10,49 %
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis Conduta de 300 mm caudal + 75%	26,15 %

Analisando a tabela 4.13, como era esperado, quando se incrementa o caudal maior será a percentagem de tempo em que pode ocorrer situações de potencial desconforto térmico. Portanto, fica evidente que o uso de condutas e o incremento do caudal de admissão é prejudicial, mas, por outro lado, permite a remoção do ar viciado do compartimento que de outra forma não seria possível.

5. Conclusões

5.1. Considerações iniciais

O objetivo principal deste trabalho foi simular o sistema de ventilação atualmente existente num edifício, que tem como utilização primária lar de idosos. Um segundo objetivo consistiu em estudar a implementação de estratégias de ventilação natural que possam melhorar as taxas de renovação de ar dos compartimentos principais.

Este trabalho mostrou, também, que através de um estudo de simulação computacional que é possível melhorar significativamente a ventilação em edifícios existentes em que as condições atuais de funcionamento são precárias.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram aplicadas diversas estratégias de ventilação sendo aperfeiçoadas até se atingirem os valores pretendidos. Através das inúmeras simulações realizadas e da análise, subsequente, dos muitos resultados retirados destas, foi possível responder às questões inicialmente levantadas, bem como, a outras conclusões interessantes que foram encontradas ao longo da realização deste estudo.

5.2. Conclusões finais

É dentro dos quartos que a maioria dos utentes passa o seu tempo, portanto, era imprescindível melhorar as condições de ventilação existentes nestes compartimentos.

Deste modo, conclui-se que, a fim de obter taxas de renovação de ar aceitáveis, é necessário aplicar a NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis, conforme demonstrado na figura 5.1. Com a implementação desta estratégia de ventilação são melhoradas as taxas de renovação de ar em cerca de 3,2 vezes, ou seja, de 0,22 para 0,71, conforme apresentado na tabela 5.1.

Neste edifício em concreto, e devido à existência de alguns compartimentos sem instalação sanitária privativa, a taxa de renovação de ar deste é ligeiramente inferior à média dos restantes compartimentos. Recorrendo ao uso de uma conduta de ar com diâmetro de 300 mm com ligação à fachada oposta e com o aumento do caudal de admissão de 75% é possível obter resultados semelhantes aos valores dos restantes compartimentos.

Com a implementação das condutas de ar obteve-se um valor médio de 0,74, mas quando comparado ao valor obtido sem o recurso das condutas, de 0,71, pode-se concluir, que para este caso em estudo, a única vantagem é permitir a remoção do ar viciado.

Relativamente a situações de potencial desconforto térmico nestes compartimentos, quando

aplicada a estratégia de ventilação com a NP1037-1:2015, existe a possibilidade de em cerca de 15% do ano poder ocorrer situações de potencial desconforto. Quanto maior forem os caudais de admissão maior será a percentagem de tempo de ocorrer esta situação. Portanto, este valor considera-se razoável quando o objetivo primário é melhorar as taxas de renovação de ar que são baixas.

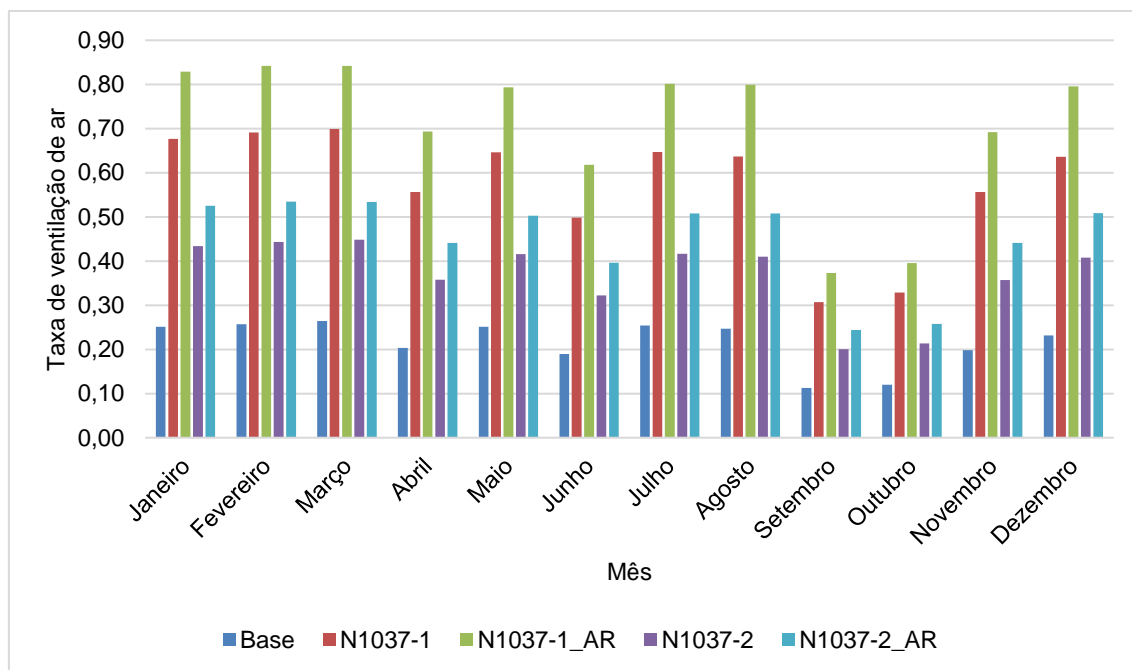


Figura 5.1 - Comparação dos resultados para os Quartos

A Sala do Piano é um compartimento localizado no rés-do-chão, do qual é feito um uso mínimo pelos utentes deste edifício. Tem apenas uma porta que dá acesso a este compartimento e outra que dá acesso ao terraço. Existe, também, uma instalação sanitária dotada de um ventilador mecânico, mas que para este trabalho não foi considerado, ou seja, a ventilação ocorre de forma natural.

Através das várias simulações realizadas, observou-se que qualquer que seja a estratégia de ventilação a implementar no edifício, este compartimento sempre terá taxas de renovação de ar muito baixas, mantendo-se praticamente inalteráveis, ou seja, um valor médio de 0,24, conforme a tabela 5.1.

Analisando a figura 5.2, conclui-se que existem períodos que em a taxa de renovação de ar atinge valores mínimos de 0,12 e máximos de 0,33, e provavelmente terá sido esta razão para a instalação de um ventilador mecânico na instalação sanitária deste compartimento. Recomenda-se que este esteja sempre ligado, ou então, sempre que estejam pessoas presentes deste compartimento.

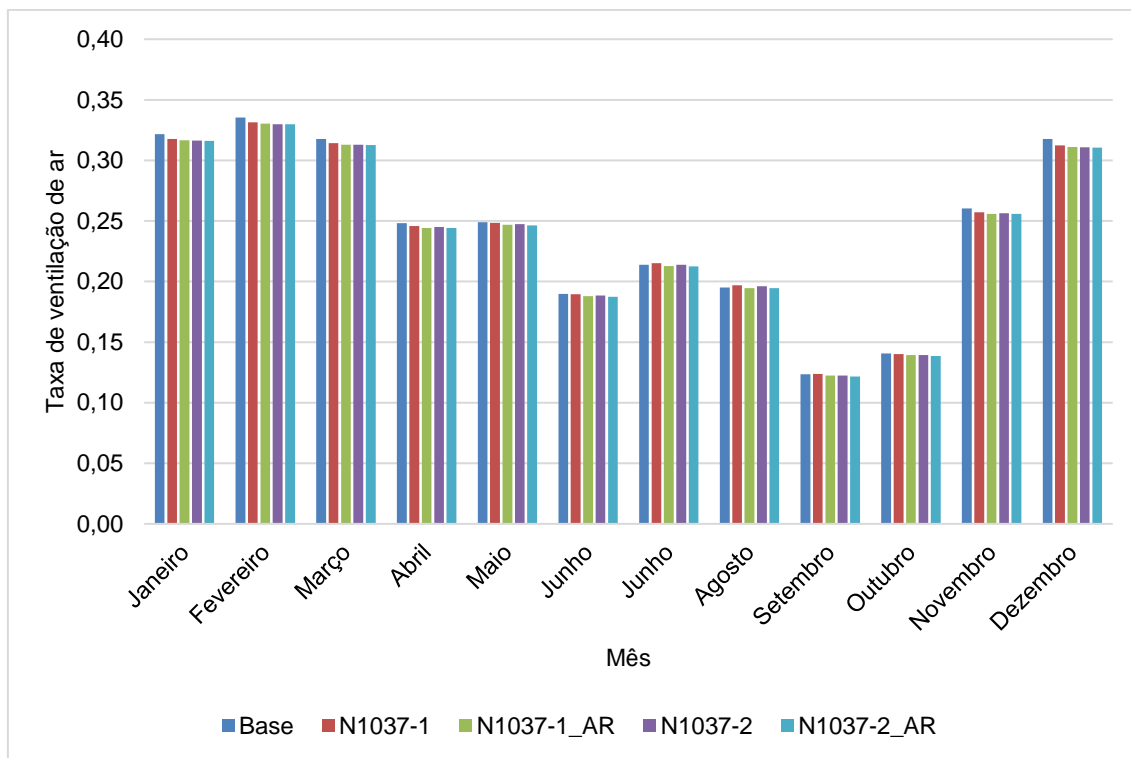


Figura 5.2 - Comparação dos resultados para a Sala do Piano

A Sala de Estar encontra-se no piso 1 deste edifício e é o compartimento com maior área e, portanto, com maior concentração de pessoas durante o mesmo período. Esta é dotada de seis vãos envidraçados, sendo que um deles é de grandes dimensões em comparação com os restantes. Tem, igualmente uma porta que dá acesso a um outro terraço.

Conforme se pode analisar na tabela 5.1, as condições existentes neste compartimento são melhores que as dos quartos. Por outro lado, e contrariamente ao verificado nos quartos, a melhor estratégia de ventilação consiste na aplicação da NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis, pois esta não limita o caudal máximo, e para diferenças de pressão maiores, estas aberturas permitem a entrada de maior caudal, contribuindo assim para taxas de renovação de ar melhores.

De qualquer forma, mesmo recorrendo a aberturas autorreguláveis, obteve-se bons resultados, ou seja, uma passagem de 0,55 para 0,84, cerca de 1,5 vezes superior. Comparando os dois tipos de aberturas, a diferença entre as duas é de aproximadamente 1,2 vezes, algo passível de ser aceitável.

Mostra-se com base na aplicação da NP1037-2:2009, que para um limite de 14 utentes a estratégia de ventilação adotada permite a renovação do ar nas mesmas condições. De qualquer forma, acredita-se que serão raras as ocasiões onde estarão mais que 14 pessoas em simultâneo neste compartimento.

Na figura 5.3 encontram-se o comportamento das várias estratégias de ventilação ao longo do ano para este compartimento.

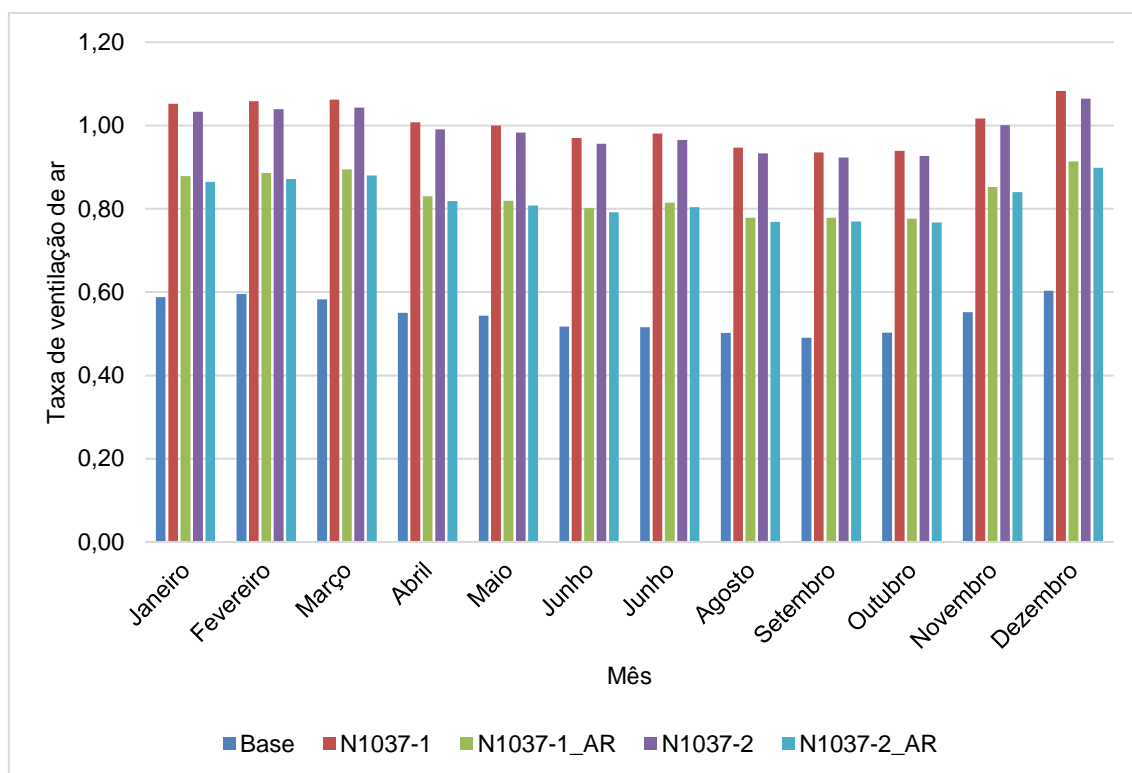


Figura 5.3 - Comparação dos resultados para a Sala de Estar

Finalmente, a Sala de Refeições localizada no piso 1 e adjacente à Sala de Estar, tem quatro vãos envidraçados, sendo que um deles é de grandes dimensões. Também, existe uma porta que permite acesso ao mesmo terraço referido na anteriormente. As condições presentes neste compartimento são muito boas, conforme a análise da tabela 5.1.

Com a introdução da nova estratégia de ventilação, NP1037-1:2015 com aberturas reguláveis é possível passar de 0,76 para 1,11, ou seja, um incremento de quase 1,5 vezes. Mais uma vez, e conforme aconteceu na Sala de Estar, caso se aplicasse esta estratégia, mas com aberturas em paredes de fachada é possível obter melhores resultados, cerca de 1,1 vezes melhor, mas apenas se estaria a passar de 1,11 para 1,19. A diferença entre eles é mínima, portanto não se justifica usar aberturas não reguláveis, pois, os valores já estão acima do recomendado pela Norma.

Relativamente à aplicação da NP1037-2:2009, fica evidenciado que para um limite de 10 utentes a estratégia de ventilação adotada permite a renovação do ar nas mesmas condições.

Na figura 5.4 encontram-se o comportamento das várias estratégias de ventilação ao longo do ano para este compartimento.

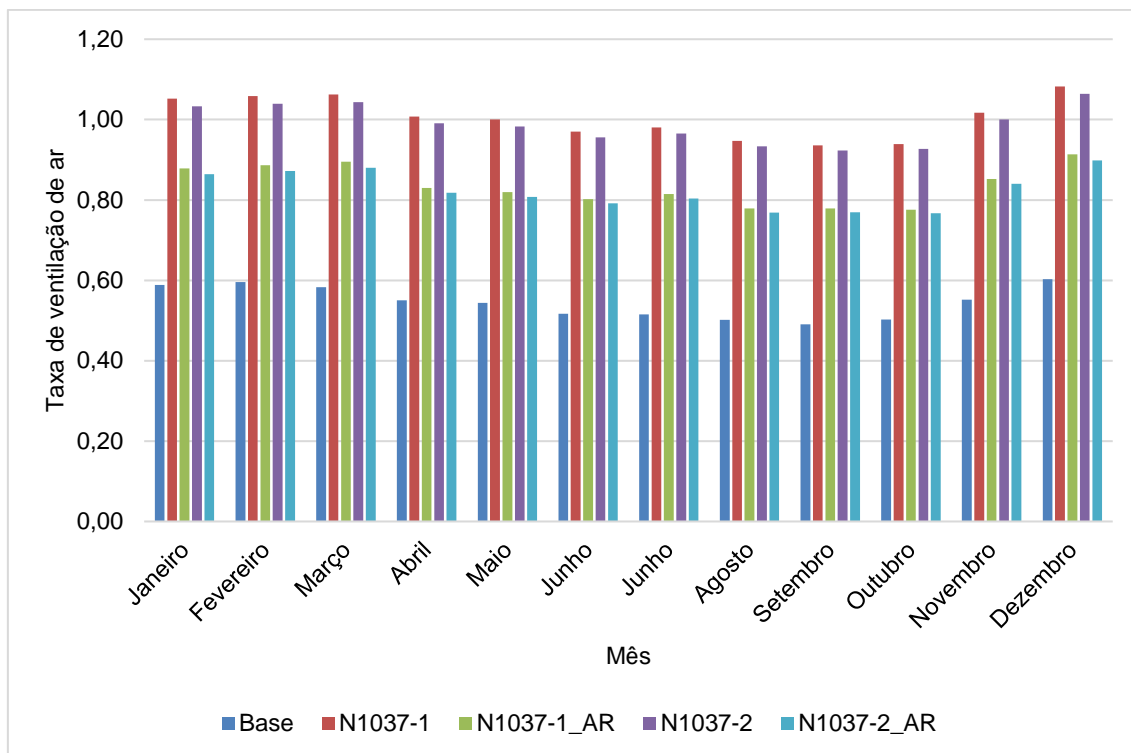


Figura 5.4 - Comparação dos resultados para a Sala de Refeições

Na tabela 5.1, já referida em parágrafos anteriores, resumem-se as taxas de renovação de ar médias anuais para todos os compartimentos em estudo em função da estratégia de ventilação.

Tabela 5.1 - Comparação dos resultados

Estratégia	Quartos	Sala do Piano	Sala de Estar	Sala de Refeições
Modelo Base	0,22	0,24	0,55	0,76
NP1037-1:2015 Aberturas não reguláveis	0,57	0,24	1,00	1,19
NP1037-1:2015 Aberturas autorreguláveis	0,71	0,24	0,84	1,11
NP1037-2:2009 Aberturas não reguláveis	0,37	0,24	0,99	1,19
NP1037-2:2009 Aberturas autorreguláveis	0,45	0,24	0,82	1,11

5.3. Desenvolvimentos futuros

A elevada variedade de simulações efetuadas permite estabelecer um precedente para novos casos de estudo de outros edifícios com a mesma finalidade.

Para futuros desenvolvimentos, recomenda-se a realização de mais campanhas de simulação em outros edifícios com diferentes tipologias, orientações, envolventes urbanas e outras características de carácter importante, com base nas várias estratégias de ventilação abordadas neste trabalho.

Através dos resultados aqui apresentados e dos futuros obtidos, será possível identificar pontos em comum e estabelecer regras de projetar sistemas de ventilação adequados a edifícios utilizados como lares de idosos.

Bibliografia

Aelenei, D., Nogueira, S., Viegas, J., Mendes, A., Cano, M. e Cerqueira, F., (2015). Caracterização experimental das taxas de renovação horária em residências para pessoas idosas. 5ª Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB 2015.

ASHRAE, (2013). ASHRAE Standard 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

Awbi, H. B., (2003). Ventilation of buildings. London: Spon Press.

AFDH - Applied Fluid Dynamics Handbook, (1984). Blevins, R. D. New York: Van Nostrand Reinhold Co.

BRE - Buildings Research Establishment Digest 297, (1985). Surface condensation and mould growth in traditionally built dwellings. Watford: BRE.

Cerqueira, F., (2015). Avaliação das condições de ventilação de lares de idosos. Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

Cerqueira, F., Azevedo, S., Aelenei, D. e Viegas, J., (2014). Assessment of Ventilation in Elderly Care Centres, 40th IAHS World Congress in Housing – Sustainable Housing Construction.

DeKay, M. e Brown, G., (2014). Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies, 3ª Edição. New Jersey: Hoboken: Wiley.

Dias Pereira, L., Raimondo, D., Corgnati, S. P. e Gameiro da Silva, M., (2014). Assessment of indoor air quality and thermal comfort in Portuguese secondary classrooms, Methodology and results, Building and Environment, 81, 69-80.

Dutton, S., Shao, L. e Riffat, S., (2008). Validation and Parametric Analysis of EnergyPlus: Air Flow Network Model Using CONTAM. Proceedings of SimBuild 2008 - Third National Conference of IBPSA. Berkeley.

EN15251, (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.

EPA - United States Environmental Protection Agency, (2014). [online] Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution> [acedido 10/08/2016].

Ferreira, C., (2013), Avaliação do funcionamento de uma fachada de dupla pele por processos

de ventilação natural. Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

TPU - Tokyo Polytechnic University - Global COE Program (2016). [online] Disponível em: <http://wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu> [acedido 11/04/2016].

Henriques, F., (2011). Comportamento Higrotérmico em Edifícios. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

Huang, Y., Chu, C., Lee, S. C., Lan S., Hsieh, C. e Hsieh, P., (2013). Building users perceptions of importance of indoor environmental quality in long-term care facilities, *Building and Environment*, 67, 224-230.

Ismail, M. e Rahman, A. (2012). Stack Ventilation Strategies in Architectural Context: A brief review of historical development, current trends and future possibilities. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 11 (2), 291-301.

ISO 8996, (2004). Ergonomics of the thermal environment -- Determination of metabolic rate.

Liddament, M. W., (1996). *A Guide to Energy Efficient Ventilation*. England, Coventry: Air Infiltration and Ventilation Centre.

Mansouri, Y., Allard, F. e Musy, M., (2003). Conceptual Implementation of Natural Ventilation Strategy. *Building Simulation*, 8, 815-822.

Mendes, A., Aelenei, D., Papoila, A. L., Carreiro-Martins, P., Aguiar, L., Pereira, C., Neves, P., Azevedo, S., Cano, M., Proença, C., Viegas, J., Silva, S., Mendes, D., Neuparth, N. e Teixeira, J. P., (2014). Environmental and Ventilation Assessment in Child Day Care Centers in Porto: The Envirh Project, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues*, 77:14-16, 931-943.

NITS - National Institute of Standards and Technology, (2014). [online] Disponível em: <https://www.nist.gov/services-resources/software/contam> [acedido 03/05/2016].

NP1037-1, (2015). Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás; Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural.

NP1037-2, (2009). Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás; Parte 2: Edifícios de habitação; Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples.

OMS – Organização das Nações Unidas, (2010). Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. [online]. Disponível em: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf [acedido 10/08/2016].

OMS – Organização das Nações Unidas, (2015). World Population Prospect. [online] Disponível em: https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf [acedido 10/08/2016].

Sarbu, I. e Sebarchievici, C., (2013). Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings. *Energy and Buildings*, 60, 410-419.

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (2006). Decreto-Lei n.º 80/2006, de 04 de Abril de 2006.

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (2013). Decreto-Lei n.º 118/13, de 20 de Agosto (Portaria n.º 349-A/2013).

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (2013) Decreto-Lei n.º 118/13, de 20 de Agosto (Portaria n.º 349-B e D/2013).

RSA - Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (1983). Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio de 1983.

SCE - Regulamento do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (2013). Decreto-Lei n.º 118/13, de 20 de Agosto

Temenos, N., Nikolopoulos, D., Petraki, E. e Yannakopoulos, P. H., (2015). Modelling of Indoor Air Quality of Greek Apartments Using CONTAM(W) Software. *Physical Chemistry and Biophysics*, 5 (6), 1-10.

Viegas, J., Nogueira, S., Aelenei, D., Hildebrando, C., Cano, M. e Neuparth, N., (2014). Numerical evaluation of ventilation performance in children day care centers, *Build. Simulation*, 8, 189-209.

Walsh, P. J., Dudley, C. S., Copenhaver, E. D., (1984). *Indoor Air Quality*. Florida, Boca Raton: CRC Press.

Anexos

Anexo I – Exemplo de cálculo da velocidade do vento.

Para o dia 1 de Janeiro de 2013 às 8:00 a velocidade de referência medida pelo anemômetro foi de 1,6 m/s, localizando-se no 1º quadrante.

Na estação meteorológica, local A, a altura de referência é de 10 metros e a rugosidade do local é de 0,05 metros, pela equação 3.1:

$$u_A = \frac{0,4 * 1,6}{\ln\left(\frac{10}{0,05}\right)} = 0,12 \text{ m/s} \quad \text{A.1}$$

Pela equação 3.2 calcula-se a altura equivalente da rugosidade na zona urbana, onde h_r são 18 metros e λ_f tem o valor de 0,08.

$$Z_{0B} = 0,5 * 18 * 0,08 = 0,72 \text{ m} \quad \text{A.2}$$

De seguida segunda a equação 3.3, calcula-se a espessura da Camada Limite Urbana de B, onde a distância medida na horizontal é de 3800 metros.

$$\delta_B = 0,72 * \left(0,65 - 0,03 * \ln\left(\frac{0,72}{0,05}\right)\right) * \left(\frac{3800}{0,72}\right)^{0,8} = 390,08 \text{ m} \quad \text{A.3}$$

Aplicando a equação 3.4, calcula-se a velocidade de atrito em B.

$$u_B = 0,12 * \left(1 + \frac{\ln\left(\frac{0,72}{0,05}\right)}{\ln\left(\frac{390,08}{0,72}\right)}\right) = 0,17 \text{ m/s} \quad \text{A.4}$$

Determina-se a altura do deslocamento pela equação 3.5.

$$d = 18 * \left(1 - \frac{1 - e^{-\sqrt{15 * 0,08}}}{\sqrt{15 * 0,08}}\right) = 7,06 \text{ m} \quad \text{A.5}$$

Pela equação 3.6, calcula-se a velocidade em B.

$$U_B = \frac{0,17}{0,4} * \ln\left(\frac{10 - 7,06}{0,72}\right) = 0,60 \text{ m/s} \quad \text{A.6}$$

Finalmente, pela equação 3.7, determina-se a velocidade do vento à cota da cobertura, ou

seja, a 18 metros.

$$U_B(18) = 0,60 * \left(\frac{18}{10}\right)^{0,28} = 0,71m/s \quad A.7$$

Para o vento segundo o 3º quadrante e no dia 6 de Janeiro de 2013 às 19:00, onde a foi registada uma velocidade de referência de 0,4 m/s.

Na estação meteorológica, local B, a altura de referência é de 10 metros e a rugosidade do local é de 0,05 metros, pela equação 3.1:

$$u_B = \frac{0,4 * 0,4}{\ln\left(\frac{10}{0,05}\right)} = 0,03m/s \quad A.8$$

Pela equação 3.2 calcula-se a altura equivalente da rugosidade na zona urbana, onde h_r são 18 metros e λ_r tem o valor de 0,12, este é diferente pois o rumo do vento alterou-se a área de fachada é maior.

$$Z_{0A} = 0,5 * 18 * 0,12 = 1,08m \quad A.9$$

De seguida, calcula-se a espessura da Camada Limite Urbana de B, onde a distância medida na horizontal deu 3800 metros.

$$\delta_B = 0,05 * \left(0,65 - 0,03 * \ln\left(\frac{0,05}{1,08}\right)\right) * \left(\frac{3800}{0,05}\right)^{0,8} = 297,94m \quad A.10$$

Aplicando a equação 3.4, calcula-se a velocidade de atrito em A.

$$u_A = 0,03 * \left(1 + \frac{\ln\left(\frac{0,05}{1,08}\right)}{\ln\left(\frac{297,94}{0,05}\right)}\right) = 0,05m/s \quad A.11$$

Determina-se a altura do deslocamento pela equação 3.5.

$$d = 18 * \left(1 - \frac{1 - e^{-\sqrt{15 * 0,12}}}{\sqrt{15 * 0,12}}\right) = 8,09m \quad A.12$$

Pela equação 3.6, calcula-se a velocidade em A.

$$U_A = \frac{0,05}{0,4} * \ln\left(\frac{10 - 8,09}{1,08}\right) = 0,07 m/s \quad A.13$$

Finalmente, pela equação 3.7, determina-se a velocidade do vento à cota da cobertura, ou seja, a 18 metros.

$$U_B(18) = 0,07 * \left(\frac{18}{10}\right)^{0,28} = 0,08 m/s \quad A.14$$

Para o vento a circular no 2º e 4º quadrante e, por exemplo, no dia 1 de Janeiro de 2013 às 1:00, a velocidade de referência medida pelo anemómetro foi de 2,3 m/s

Pela equação 3.7, determina-se a velocidade do vento à cota da cobertura, ou seja, a 18 metros.

$$U_B(18) = 2,3 * \left(\frac{18}{10}\right)^{0,28} = 2,7 m/s \quad A.15$$

Anexo II - Curvas características dos coeficientes de pressão da fachada Sul

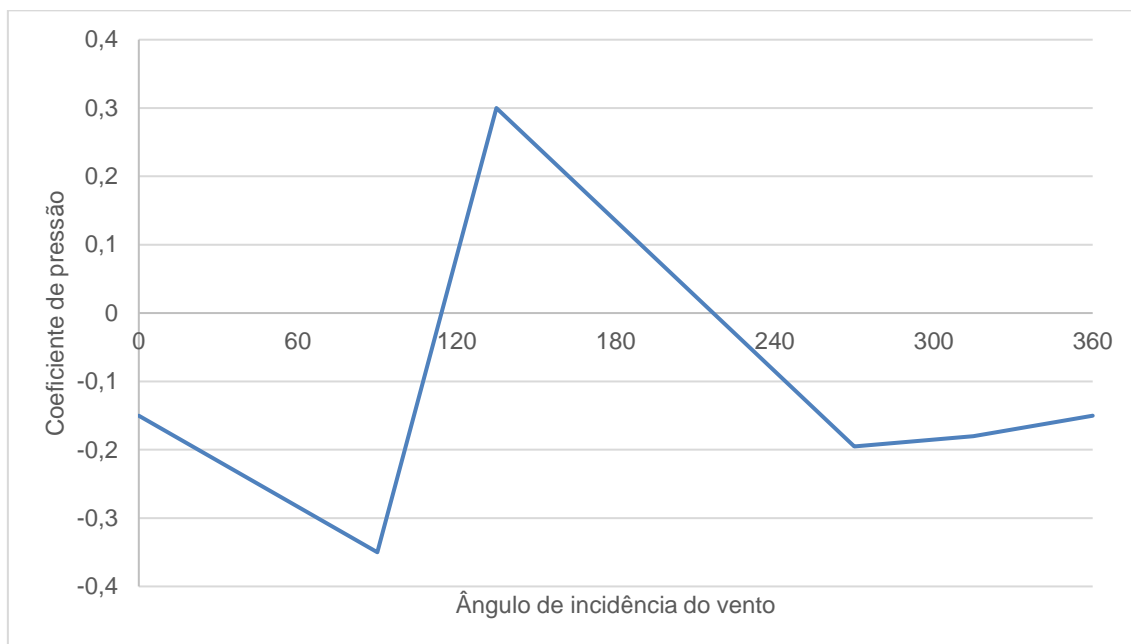


Figura A.II.1 - Curva característica da zona S2 da fachada Sul

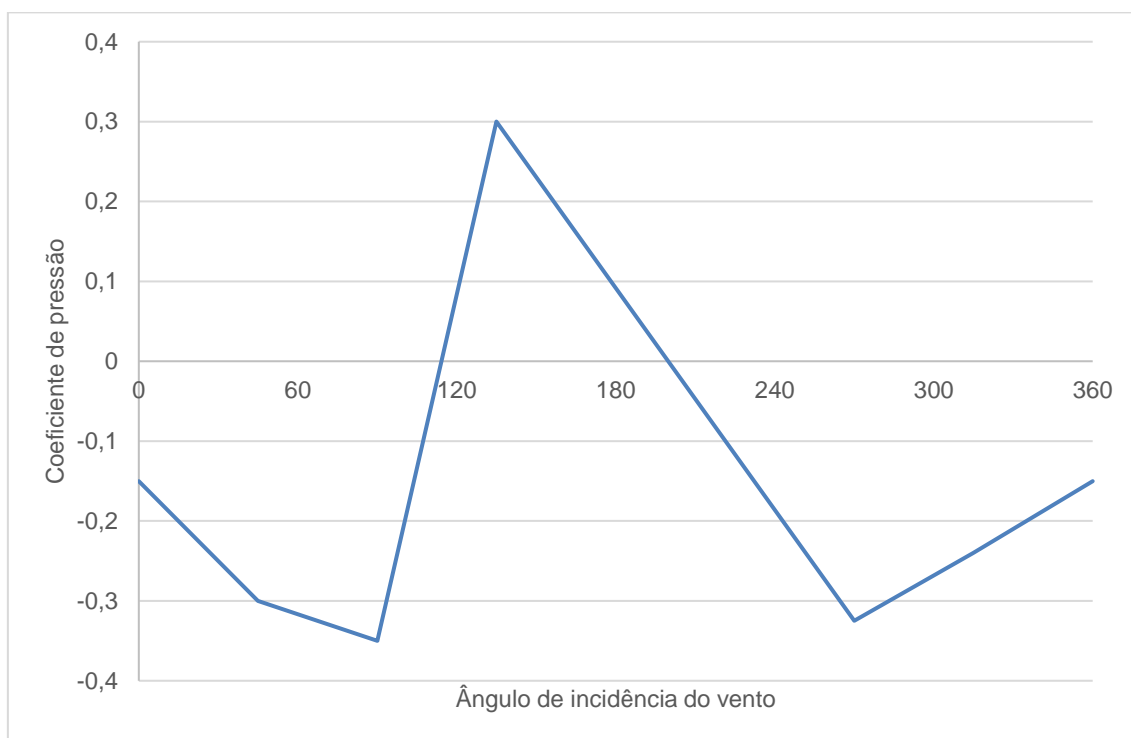


Figura A.II.2 - Curva característica da zona S3 da fachada Sul

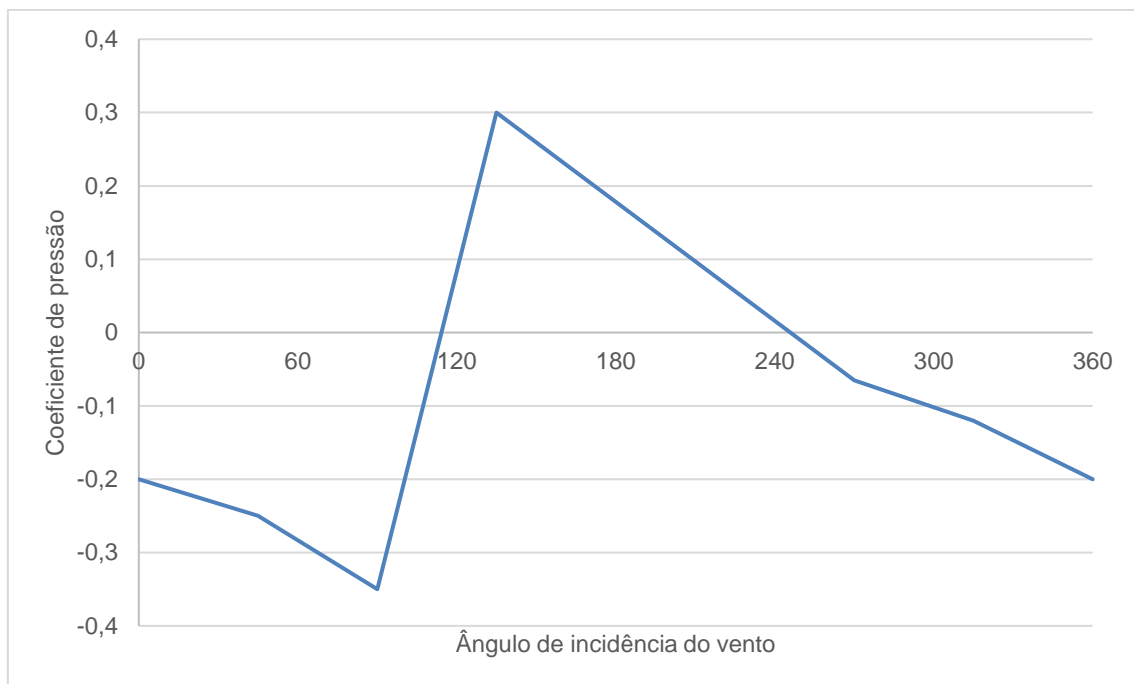


Figura A.II.3 - Curva característica da zona S4 da fachada Sul

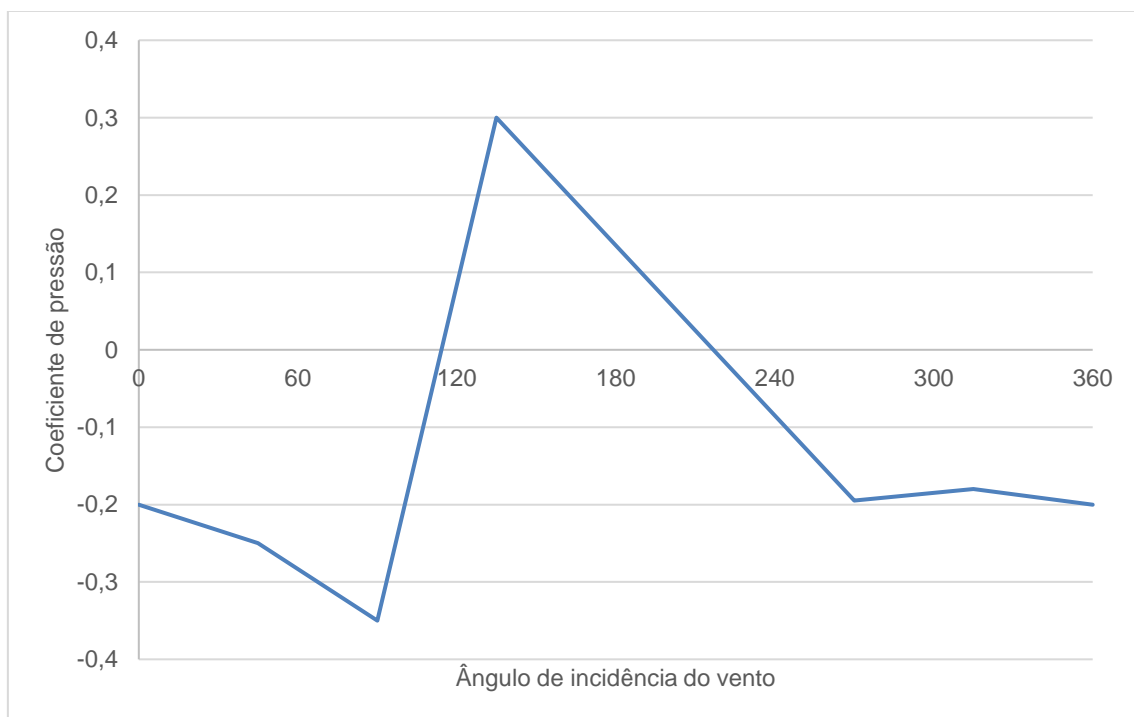


Figura A.II.4 - Curva característica da zona S5 da fachada Sul

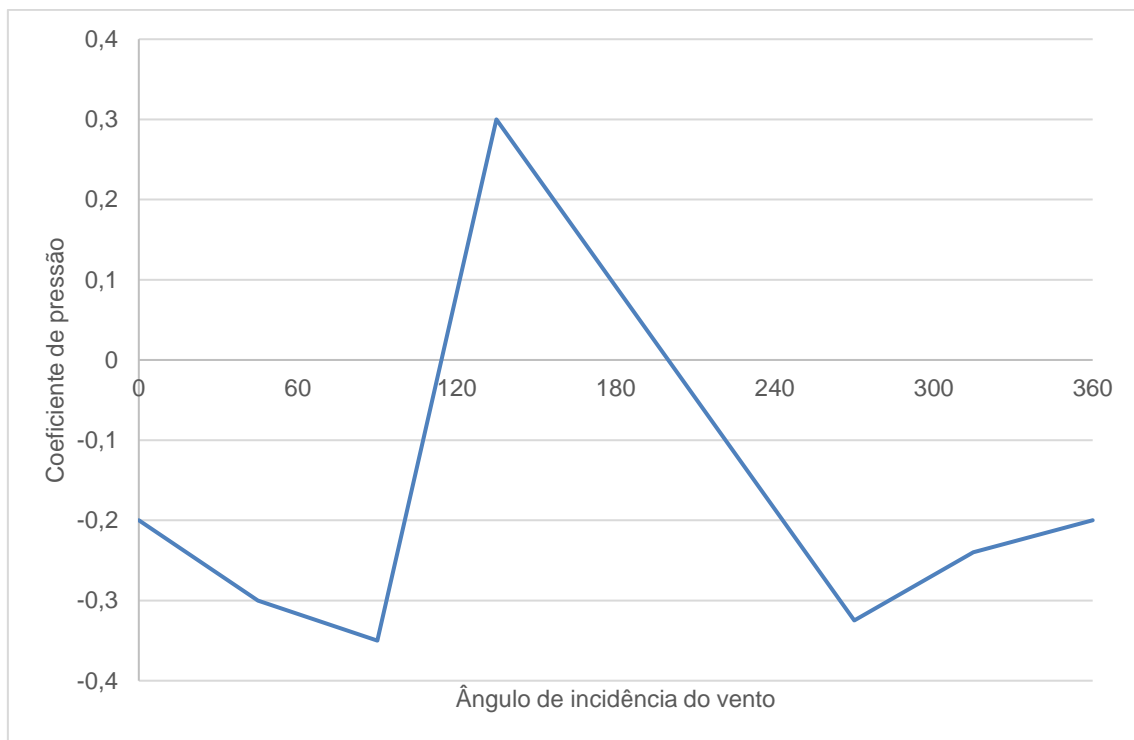


Figura A.II.5 - Curva característica da zona S6 da fachada Sul

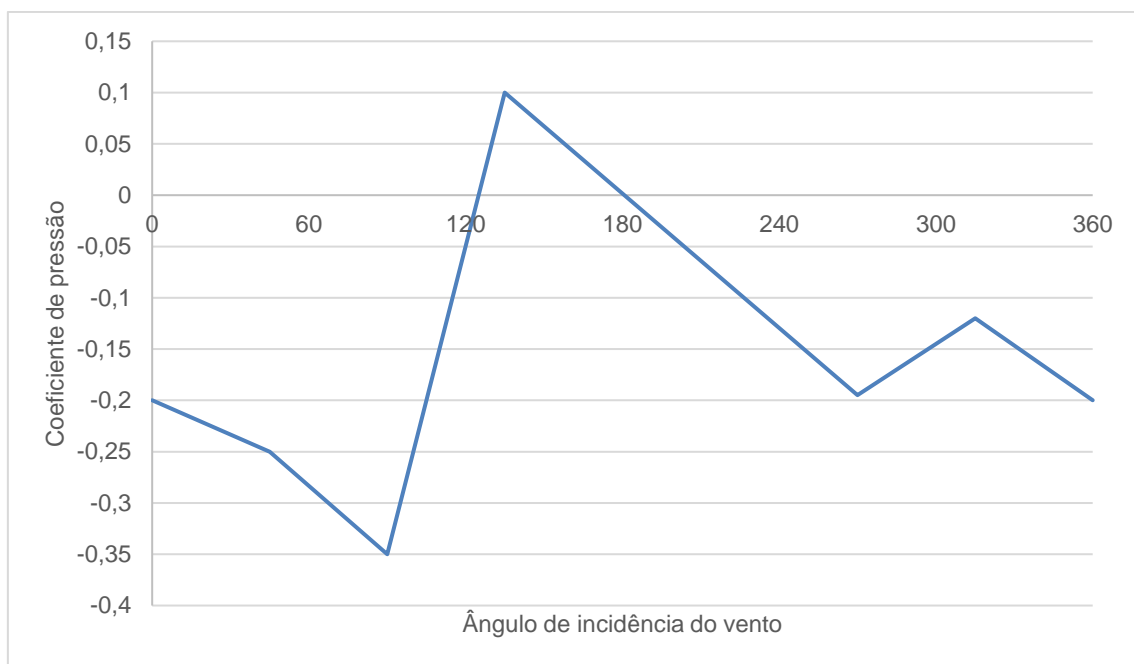


Figura A.II.6 - Curva característica da zona S7 da fachada Sul



Figura A.II.7 - Curva característica da zona S8 da fachada Sul

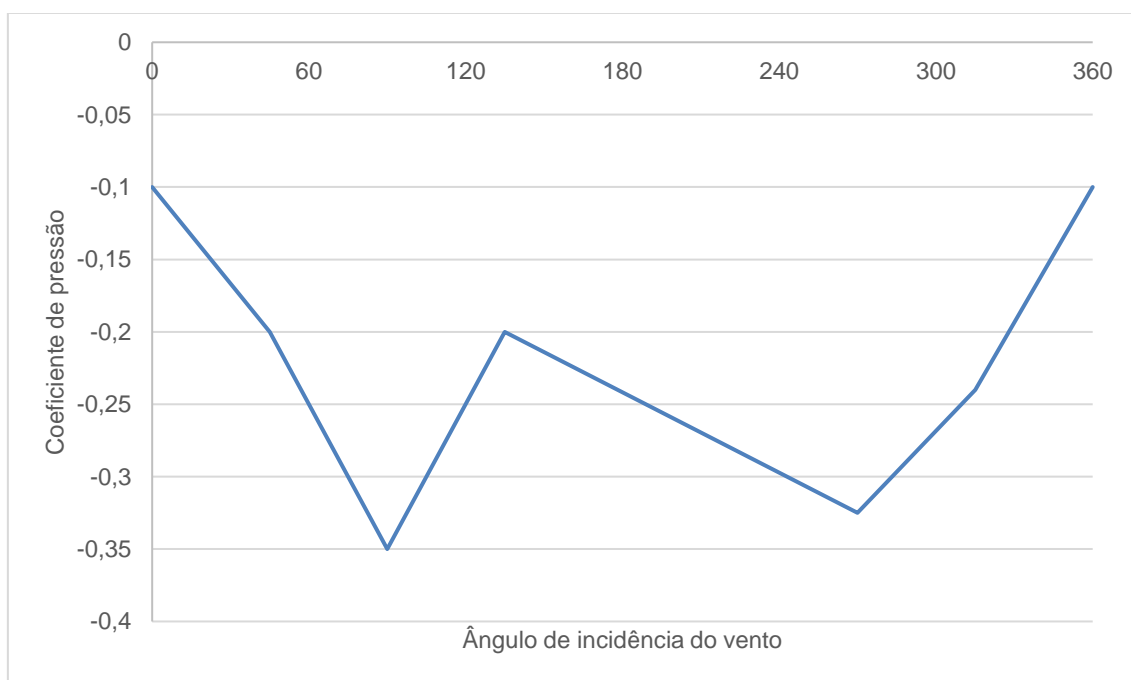


Figura A.II.8 - Curva característica da zona S9 da fachada Sul

Anexo III - Curvas características dos coeficientes de pressão da fachada Norte

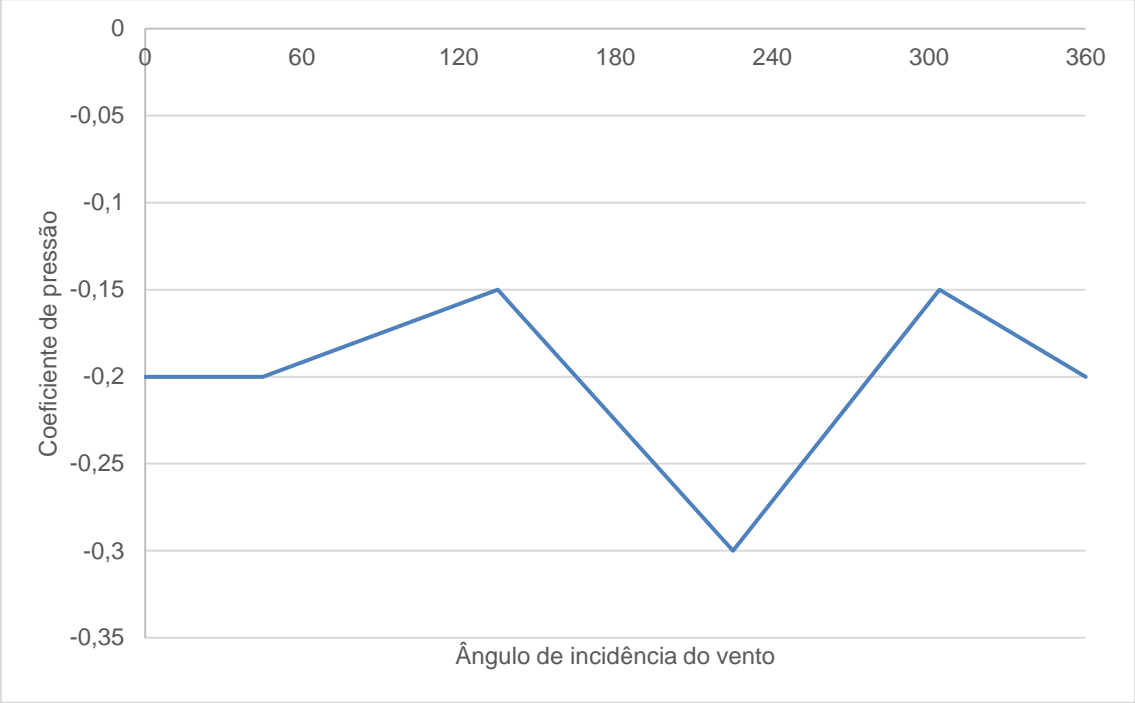


Figura A.III.1 - Curva característica da zona N2 da fachada Norte

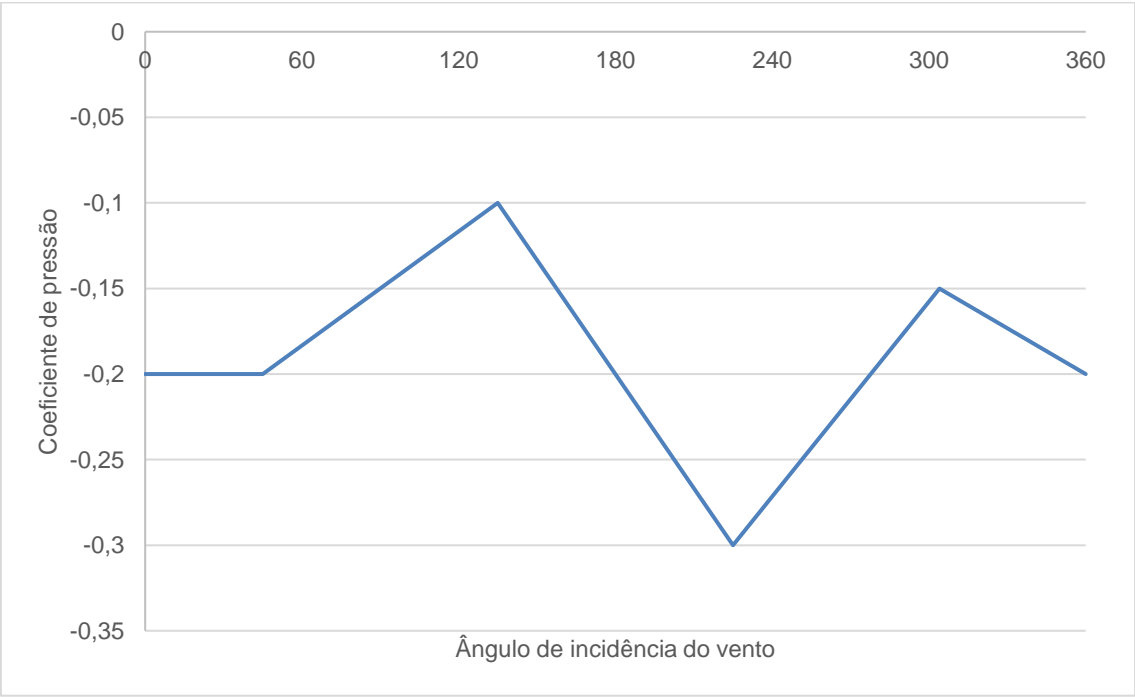


Figura A.III.2 - Curva característica da zona N3 da fachada Norte

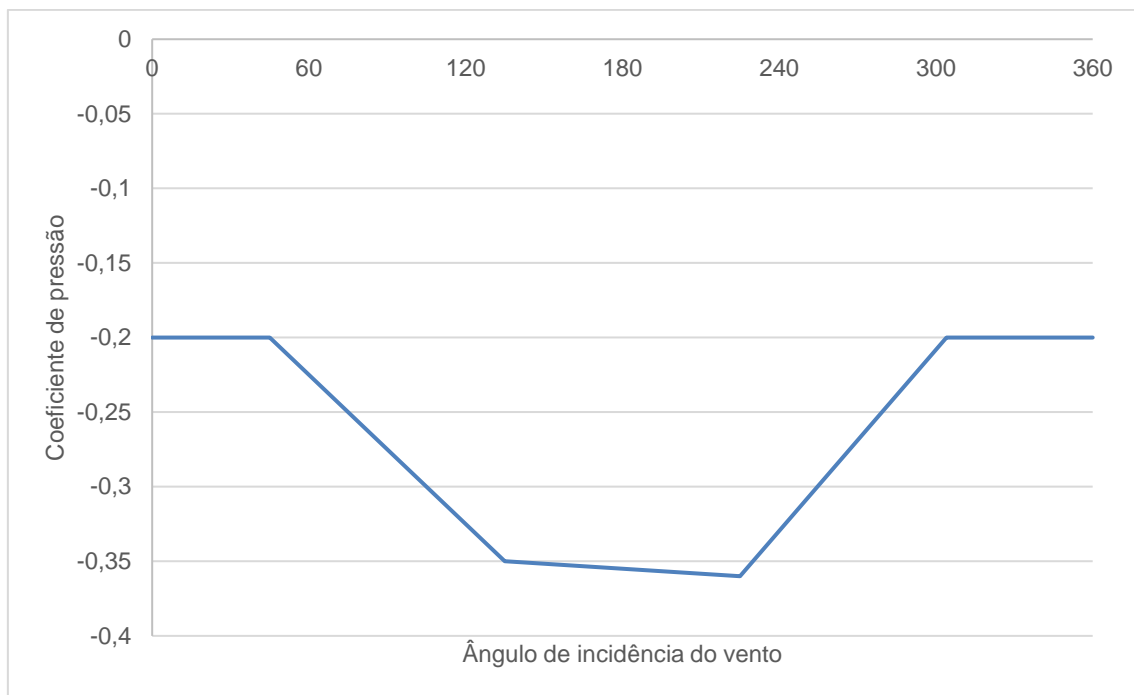


Figura A.III.3 - Curva característica da zona N4 da fachada Norte

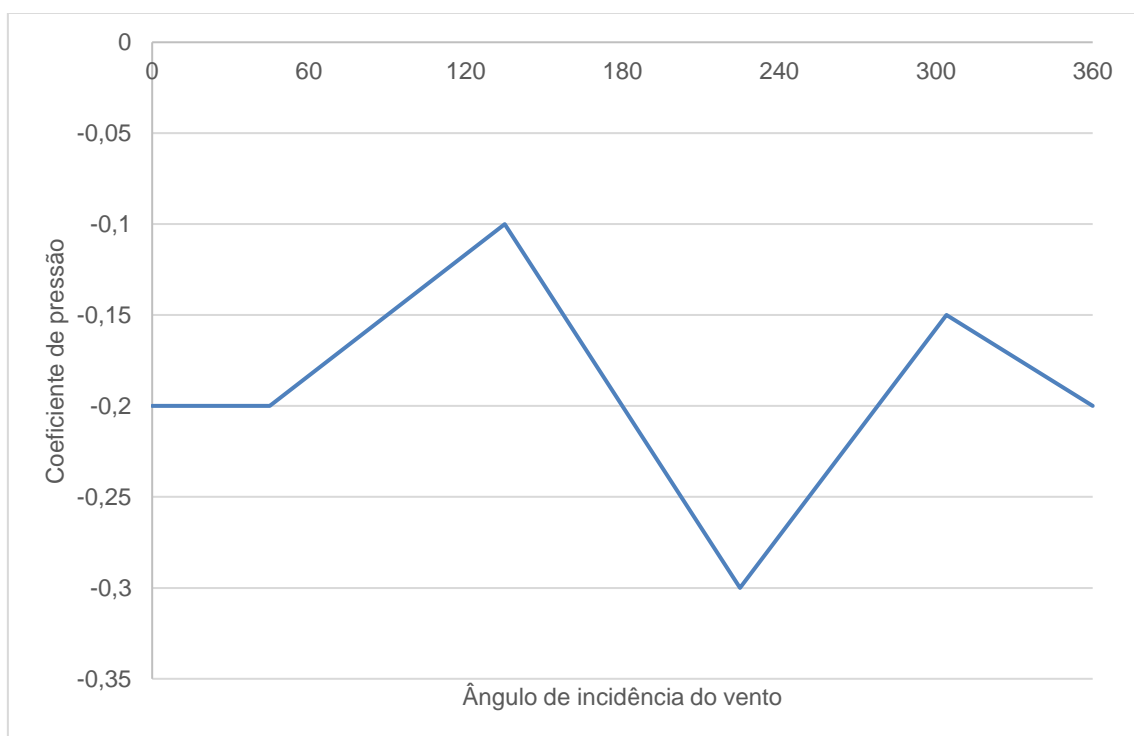


Figura A.III.4 - Curva característica da zona N5 da fachada Norte

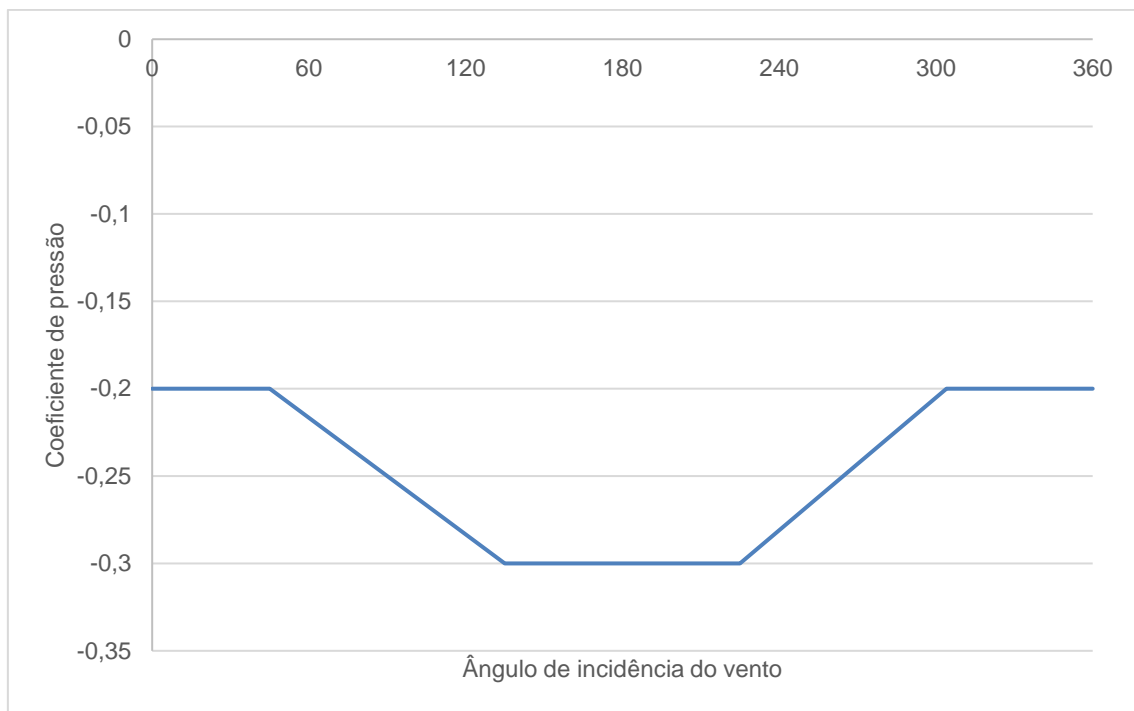


Figura A.III.5 - Curva característica da zona N6 da fachada Norte

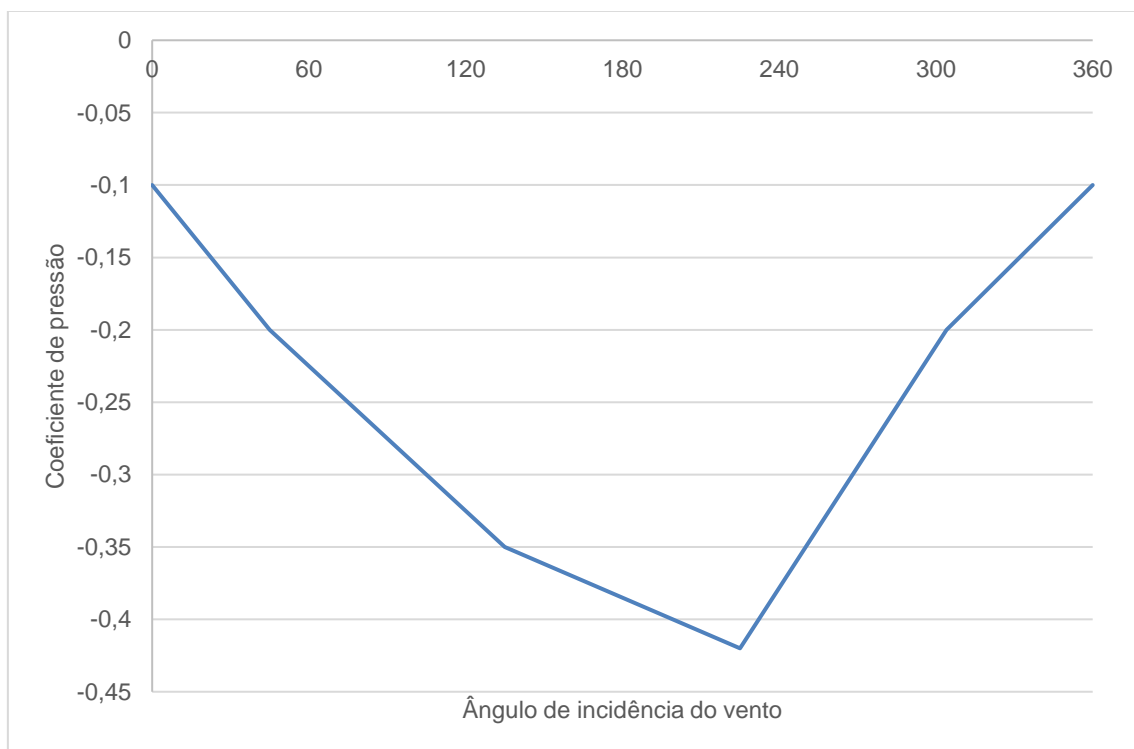


Figura A.III.6 - Curva característica da zona N7 da fachada Norte

Anexo IV – Resultados das simulações da Fase 1

Nas tabelas seguintes a 1º coluna indica o valor da taxa de ventilação de ar do compartimento, a 2º coluna o valor médio da taxa de ventilação de ar dos compartimentos por orientação de fachada, Sul e Norte, respetivamente e a 3º coluna o valor médio da taxa de ventilação de ar por piso. Esta organização repete-se nas futuras tabelas.

Tabela A.IV.1 - Resultados da Fase 1 - Modelo Base

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar		
Q2.1	11,46	0,28	0,23	0,24
Q2.2	7,32	0,18		
Q2.3	11,77	0,18		
Q2.4	11,50	0,25		
Q2.5	11,38	0,27		
Q2.6	13,08	0,19	0,26	
Q2.7	13,71	0,32		
Q3.1	9,79	0,23	0,21	0,21
Q3.2	6,20	0,15		
Q3.3	11,72	0,18		
Q3.4	11,40	0,25		
Q3.5	9,72	0,23		
Q3.6	10,22	0,15	0,20	
Q3.7	11,29	0,25		
Q4.1	9,58	0,23	0,20	0,20
Q4.2	5,36	0,13		
Q4.3	9,76	0,15		
Q4.4	10,84	0,24		
Q4.5	9,51	0,23		
Q4.6	9,95	0,15	0,20	
Q4.7	10,93	0,25		
Q5.1	9,42	0,23	0,19	0,22
Q5.2	4,25	0,11		
Q5.3	9,56	0,17		
Q5.4	10,53	0,24		
Q5.5	9,38	0,23		
Q5.6	10,44	0,16	0,27	
Q5.7	16,75	0,39		
Sala do Piano	23,34	0,24		
Sala de Estar	141,05	0,55		
Sala de Refeições	137,08	0,76		

Tabela A.IV.2 - Resultados da Fase 1 - Portas I.S. abertas

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar		
Q2.1	12,24	0,30	0,27	0,29
Q2.2	8,35	0,20		
Q2.3	12,88	0,20		
Q2.4	17,20	0,38		
Q2.5	12,11	0,29		
Q2.6	16,01	0,23	0,32	
Q2.7	17,18	0,40		
Q3.1	11,79	0,28	0,26	0,27
Q3.2	7,46	0,18		
Q3.3	12,39	0,19		
Q3.4	16,81	0,37		
Q3.5	11,66	0,28		
Q3.6	13,25	0,19	0,28	
Q3.7	16,58	0,37		
Q4.1	11,17	0,27	0,24	0,25
Q4.2	6,77	0,17		
Q4.3	11,73	0,18		
Q4.4	15,47	0,34		
Q4.5	11,04	0,27		
Q4.6	12,49	0,18	0,27	
Q4.7	15,64	0,36		
Q5.1	10,30	0,25	0,23	0,31
Q5.2	6,42	0,16		
Q5.3	10,78	0,20		
Q5.4	14,25	0,32		
Q5.5	10,24	0,25		
Q5.6	13,79	0,20	0,50	
Q5.7	33,84	0,79		
Sala do Piano	23,74	0,25		
Sala de Estar	142,33	0,55		
Sala de Refeições	138,31	0,77		

Tabela A.IV.3 - Resultados da Fase 1 - Portas com frinchas de 1 mm

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar		
Q2.1	10,42	0,25	0,22	0,22
Q2.2	6,94	0,17		
Q2.3	10,63	0,16		
Q2.4	11,95	0,26		
Q2.5	10,36	0,25		
Q2.6	10,85	0,16	0,22	
Q2.7	11,94	0,28		
Q3.1	10,16	0,24	0,21	0,21
Q3.2	5,90	0,14		
Q3.3	10,36	0,16		
Q3.4	11,69	0,26		
Q3.5	10,10	0,24		
Q3.6	10,59	0,15	0,21	
Q3.7	11,58	0,26		
Q4.1	9,91	0,24	0,20	0,20
Q4.2	5,06	0,12		
Q4.3	10,08	0,15		
Q4.4	11,09	0,24		
Q4.5	9,83	0,24		
Q4.6	10,27	0,15	0,20	
Q4.7	11,19	0,25		
Q5.1	9,75	0,24	0,20	0,21
Q5.2	3,48	0,09		
Q5.3	9,88	0,18		
Q5.4	10,81	0,24		
Q5.5	9,71	0,23		
Q5.6	10,06	0,15	0,26	
Q5.7	16,11	0,37		
Sala do Piano	22,87	0,24		
Sala de Estar	116,41	0,45		
Sala de Refeições	113,79	0,63		

Tabela A.IV.4 - Resultados da Fase 1 - Portas com frinchas de 5 mm

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar		
Q2.1	14,96	0,36	0,31	0,31
Q2.2	9,10	0,22		
Q2.3	15,21	0,24		
Q2.4	16,91	0,37		
Q2.5	14,90	0,36		
Q2.6	15,52	0,23	0,31	
Q2.7	16,90	0,39		
Q3.1	14,70	0,35	0,30	0,30
Q3.2	8,13	0,20		
Q3.3	14,94	0,23		
Q3.4	16,68	0,37		
Q3.5	14,65	0,35		
Q3.6	15,26	0,22	0,30	
Q3.7	16,57	0,37		
Q4.1	14,41	0,35	0,29	0,29
Q4.2	7,34	0,18		
Q4.3	14,63	0,22		
Q4.4	16,06	0,35		
Q4.5	14,34	0,35		
Q4.6	14,90	0,22	0,29	
Q4.7	16,14	0,37		
Q5.1	14,82	0,36	0,30	0,33
Q5.2	5,91	0,15		
Q5.3	15,00	0,27		
Q5.4	16,32	0,37		
Q5.5	14,79	0,36		
Q5.6	15,27	0,23	0,41	
Q5.7	25,37	0,59		
Sala do Piano	49,95	0,52		
Sala de Estar	169,28	0,65		
Sala de Refeições	163,69	0,91		

Anexo V – Resultados das simulações da Fase 2

Tabela A.V.1 - Resultados da Fase 2 - NP1037-1:2015 com aberturas não reguláveis

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar			Caudal projeto (m³/h)	Relação de caudais
Q2.1	28,80	0,70	0,62	0,61	53,78	0,54
Q2.2	20,49	0,50			40,42	0,51
Q2.3	33,87	0,52			66,15	0,51
Q2.4	32,47	0,71			60,05	0,54
Q2.5	28,18	0,68			54,43	0,52
Q2.6	34,40	0,50	0,59		69,17	0,50
Q2.7	29,47	0,69			52,92	0,56
Q3.1	27,24	0,65	0,58	0,58	53,78	0,51
Q3.2	18,13	0,44			40,42	0,45
Q3.3	32,06	0,49			66,15	0,48
Q3.4	31,07	0,69			60,05	0,52
Q3.5	26,62	0,64			54,43	0,49
Q3.6	33,05	0,48	0,56		69,17	0,48
Q3.7	28,55	0,64			52,92	0,54
Q4.1	25,94	0,63	0,55	0,55	53,78	0,48
Q4.2	16,69	0,41			40,42	0,41
Q4.3	30,44	0,46			66,15	0,46
Q4.4	29,24	0,64			60,05	0,49
Q4.5	25,19	0,61			54,43	0,46
Q4.6	31,23	0,46	0,54		69,17	0,45
Q4.7	27,29	0,62			52,92	0,52
Q5.1	23,69	0,57	0,54	0,55	53,78	0,44
Q5.2	14,80	0,37			40,42	0,37
Q5.3	27,66	0,51			66,15	0,42
Q5.4	28,41	0,64			60,05	0,47
Q5.5	24,45	0,59			54,43	0,45
Q5.6	28,87	0,43	0,60		69,17	0,42
Q5.7	33,30	0,77			52,92	0,63
Sala do Piano	23,17	0,24			92,66	0,25
Sala de Estar	259,89	1,00			258,80	1,00
Sala de Refeições	214,55	1,19			180,36	1,19

Tabela A.V.2 - Resultados da Fase 2 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar			Caudal projeto (m³/h)	Relação de caudais
Q2.1	35,86	0,87	0,77	0,75	53,78	0,67
Q2.2	25,05	0,61			40,42	0,62
Q2.3	42,01	0,65			66,15	0,64
Q2.4	39,09	0,86			60,05	0,65
Q2.5	35,26	0,85			54,43	0,65
Q2.6	42,46	0,62	0,72		69,17	0,61
Q2.7	35,34	0,82			52,92	0,67
Q3.1	34,36	0,82	0,72	0,71	53,78	0,64
Q3.2	21,56	0,52			40,42	0,53
Q3.3	40,27	0,62			66,15	0,61
Q3.4	37,71	0,84			60,05	0,63
Q3.5	33,76	0,82			54,43	0,62
Q3.6	41,21	0,60	0,69		69,17	0,60
Q3.7	34,56	0,78			52,92	0,65
Q4.1	33,01	0,80	0,69	0,68	53,78	0,61
Q4.2	19,77	0,49			40,42	0,49
Q4.3	38,57	0,59			66,15	0,58
Q4.4	35,90	0,78			60,05	0,60
Q4.5	32,26	0,78			54,43	0,59
Q4.6	39,25	0,57	0,67		69,17	0,57
Q4.7	33,32	0,76			52,92	0,63
Q5.1	30,24	0,73	0,67	0,67	53,78	0,56
Q5.2	17,88	0,45			40,42	0,44
Q5.3	35,23	0,64			66,15	0,53
Q5.4	34,64	0,78			60,05	0,58
Q5.5	30,86	0,74			54,43	0,57
Q5.6	36,47	0,54	0,69		69,17	0,53
Q5.7	35,93	0,84			52,92	0,68
Sala do Piano	23,04	0,24			92,66	0,25
Sala de Estar	216,16	0,84			258,80	0,84
Sala de Refeições	199,97	1,11			180,36	1,11

Anexo VI – Resultados das simulações da Fase 3

Tabela A.VI.1 - Resultados da Fase 3 - NP1037-2:2009 com aberturas não reguláveis

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar			Caudal projeto (m³/h)	Relação de caudais
Q2.1	18,68	0,45	0,39	0,39	29,88	0,63
Q2.2	12,17	0,30			18,00	0,68
Q2.3	21,28	0,33			36,00	0,59
Q2.4	20,23	0,44			29,88	0,68
Q2.5	18,12	0,44			29,88	0,61
Q2.6	21,02	0,31	0,39		36,00	0,58
Q2.7	20,18	0,47			29,88	0,68
Q3.1	17,73	0,43	0,37	0,37	29,88	0,59
Q3.2	10,35	0,25			18,00	0,58
Q3.3	20,24	0,31			36,00	0,56
Q3.4	19,63	0,44			29,88	0,66
Q3.5	17,18	0,41			29,88	0,58
Q3.6	20,30	0,30	0,37		36,00	0,56
Q3.7	19,67	0,44			29,88	0,66
Q4.1	16,93	0,41	0,35	0,35	29,88	0,57
Q4.2	9,44	0,23			18,00	0,52
Q4.3	19,30	0,29			36,00	0,54
Q4.4	18,52	0,40			29,88	0,62
Q4.5	16,31	0,40			29,88	0,55
Q4.6	19,29	0,28	0,36		36,00	0,54
Q4.7	18,94	0,43			29,88	0,63
Q5.1	15,50	0,38	0,34	0,37	29,88	0,52
Q5.2	9,29	0,23			18,00	0,52
Q5.3	17,63	0,32			36,00	0,49
Q5.4	18,03	0,40			29,88	0,60
Q5.5	15,78	0,38			29,88	0,53
Q5.6	17,95	0,27	0,43		36,00	0,50
Q5.7	25,10	0,58			29,88	0,84
Sala do Piano	23,07	0,24			90,00	0,26
Sala de Estar	255,72	0,99			252,00	1,01
Sala de Refeições	214,74	1,19			180,00	1,19

Tabela A.VI.2 - Resultados da Fase 2 - NP1037-1:2009 com aberturas autorreguláveis

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar			Caudal projeto (m³/h)	Relação de caudais
Q2.1	23,18	0,56	0,48	0,48	29,88	0,78
Q2.2	14,74	0,36			18,00	0,82
Q2.3	26,33	0,41			36,00	0,73
Q2.4	23,89	0,52			29,88	0,80
Q2.5	22,66	0,54			29,88	0,76
Q2.6	25,84	0,38	0,47		36,00	0,72
Q2.7	23,82	0,55			29,88	0,80
Q3.1	22,33	0,54	0,45	0,45	29,88	0,75
Q3.2	12,22	0,30			18,00	0,68
Q3.3	25,39	0,39			36,00	0,71
Q3.4	23,35	0,52			29,88	0,78
Q3.5	21,79	0,53			29,88	0,73
Q3.6	25,19	0,37	0,45		36,00	0,70
Q3.7	23,40	0,53			29,88	0,78
Q4.1	21,49	0,52	0,43	0,43	29,88	0,72
Q4.2	11,37	0,28			18,00	0,63
Q4.3	24,41	0,37			36,00	0,68
Q4.4	22,27	0,48			29,88	0,75
Q4.5	20,87	0,51			29,88	0,70
Q4.6	24,13	0,35	0,43		36,00	0,67
Q4.7	22,69	0,52			29,88	0,76
Q5.1	19,71	0,48	0,43	0,44	29,88	0,66
Q5.2	11,32	0,28			18,00	0,63
Q5.3	22,40	0,41			36,00	0,62
Q5.4	21,49	0,48			29,88	0,72
Q5.5	19,81	0,48			29,88	0,66
Q5.6	22,55	0,33	0,47		36,00	0,63
Q5.7	26,33	0,61			29,88	0,88
Sala do Piano	22,99	0,24			90,00	0,26
Sala de Estar	213,08	0,82			252,00	0,85
Sala de Refeições	199,89	1,11			180,00	1,11

Anexo VII – Resultados das simulações da Fase 4

Tabela A.VII.1 - Resultados da Fase 4 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis, conduta de 300 mm e caudal + 30%

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar			Caudal projeto (m³/h)	Relação de caudais
Q2.1	36,04	0,88	0,80	0,78	53,78	0,67
Q2.2	30,11	0,74			40,42	0,74
Q2.3	42,25	0,65			66,15	0,64
Q2.4	39,36	0,86			60,05	0,66
Q2.5	35,42	0,85			54,43	0,65
Q2.6	42,71	0,62	0,73	0,78	69,17	0,62
Q2.7	35,64	0,83			52,92	0,67
Q3.1	34,42	0,83	0,76	0,74	53,78	0,64
Q3.2	29,26	0,71			40,42	0,72
Q3.3	40,37	0,62			66,15	0,61
Q3.4	37,84	0,84			60,05	0,63
Q3.5	33,78	0,82			54,43	0,62
Q3.6	41,31	0,60	0,69	0,74	69,17	0,60
Q3.7	34,71	0,78			52,92	0,66
Q4.1	33,01	0,80	0,73	0,72	53,78	0,61
Q4.2	29,16	0,72			40,42	0,72
Q4.3	38,60	0,59			66,15	0,58
Q4.4	35,96	0,78			60,05	0,60
Q4.5	32,25	0,78			54,43	0,59
Q4.6	39,29	0,57	0,67	0,72	69,17	0,57
Q4.7	33,39	0,76			52,92	0,63
Q5.1	30,19	0,73	0,72	0,71	53,78	0,56
Q5.2	28,42	0,71			40,42	0,70
Q5.3	35,20	0,64			66,15	0,53
Q5.4	34,66	0,78			60,05	0,58
Q5.5	30,81	0,74			54,43	0,57
Q5.6	36,46	0,54	0,69	0,71	69,17	0,53
Q5.7	36,14	0,84			52,92	0,68
Sala do Piano	23,22	0,24			92,66	0,25
Sala de Estar	217,68	0,84			258,80	0,84
Sala de Refeições	201,34	1,12			180,36	1,12

Anexo VIII – Resultados das simulações da Fase 5

Tabela A.VIII.1 - Resultados da Fase 5 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis e caudal + 30%

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar			Caudal projeto (m³/h)	Relação de caudais
Q2.1	44,45	1,08	0,95	0,93	53,78	0,83
Q2.2	30,48	0,74			40,42	0,75
Q2.3	52,44	0,81			66,15	0,79
Q2.4	48,32	1,06			60,05	0,80
Q2.5	43,66	1,05			54,43	0,80
Q2.6	53,01	0,78	0,87		69,17	0,77
Q2.7	41,59	0,97			52,92	0,79
Q3.1	42,45	1,02	0,89	0,88	53,78	0,79
Q3.2	26,51	0,65			40,42	0,66
Q3.3	50,07	0,77			66,15	0,76
Q3.4	46,36	1,03			60,05	0,77
Q3.5	41,68	1,01			54,43	0,77
Q3.6	51,27	0,75	0,83		69,17	0,74
Q3.7	40,34	0,91			52,92	0,76
Q4.1	40,68	0,99	0,85	0,83	53,78	0,76
Q4.2	24,36	0,60			40,42	0,60
Q4.3	47,81	0,73			66,15	0,72
Q4.4	44,03	0,96			60,05	0,73
Q4.5	39,73	0,96			54,43	0,73
Q4.6	48,67	0,71	0,79		69,17	0,70
Q4.7	38,58	0,88			52,92	0,73
Q5.1	37,18	0,90	0,82	0,81	53,78	0,69
Q5.2	21,57	0,54			40,42	0,53
Q5.3	43,51	0,80			66,15	0,66
Q5.4	42,43	0,95			60,05	0,71
Q5.5	38,06	0,92			54,43	0,70
Q5.6	45,04	0,67	0,80		69,17	0,65
Q5.7	39,63	0,92			52,92	0,75
Sala do Piano	23,05	0,24			92,66	0,25
Sala de Estar	216,49	0,84			258,80	0,84
Sala de Refeições	200,14	1,11			180,36	1,11

Tabela A.VIII.2 - Resultados da Fase 5 - NP1037-1:2015 com aberturas autorreguláveis e caudal + 75%

Compartimento	Caudal efetivo (m³/h)	Taxa de ventilação de ar			Caudal projeto (m³/h)	Relação de caudais
Q2.1	45,13	1,10	1,04	1,04	53,78	0,84
Q2.2	38,97	0,95			40,42	0,96
Q2.3	68,25	1,05			66,15	1,03
Q2.4	47,91	1,05			60,05	0,80
Q2.5	44,17	1,06			54,43	0,81
Q2.6	69,03	1,01	1,05		69,17	1,00
Q2.7	46,73	1,09			52,92	0,88
Q3.1	43,05	1,03	0,98	0,98	53,78	0,80
Q3.2	34,06	0,83			40,42	0,84
Q3.3	64,87	1,00			66,15	0,98
Q3.4	45,92	1,02			60,05	0,76
Q3.5	42,11	1,02			54,43	0,77
Q3.6	66,48	0,97	1,00		69,17	0,96
Q3.7	45,44	1,02			52,92	0,86
Q4.1	41,24	1,00	0,93	0,93	53,78	0,77
Q4.2	31,39	0,77			40,42	0,78
Q4.3	61,67	0,94			66,15	0,93
Q4.4	43,61	0,95			60,05	0,73
Q4.5	40,13	0,97			54,43	0,74
Q4.6	62,81	0,92	0,95		69,17	0,91
Q4.7	43,57	0,99			52,92	0,82
Q5.1	37,67	0,91	0,90	0,91	53,78	0,70
Q5.2	27,49	0,69			40,42	0,68
Q5.3	55,85	1,02			66,15	0,84
Q5.4	42,03	0,94			60,05	0,70
Q5.5	38,44	0,93			54,43	0,71
Q5.6	57,83	0,86	0,95		69,17	0,84
Q5.7	45,21	1,05			52,92	0,85
Sala do Piano	23,07	0,24			92,66	0,25
Sala de Estar	216,92	0,84			258,80	0,84
Sala de Refeições	200,41	1,11			180,36	1,11